



Miguel António Remechido Anjos

Licenciado em Engenharia Civil

Caracterização do Conforto Acústico em Edifícios de Habitação

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Presidente do Júri: Fernando Henriques, Doutorado, FCT-UNL

Orientador: Sónia Antunes, Doutorada, LNEC

Co-Orientador: Simona Fontul, Doutorada, FCT-UNL e LNEC

Arguente: Daniel Aelenei, Doutorado, FCT-UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2013



Miguel António Remechido Anjos

Licenciado em Engenharia Civil

Caracterização do Conforto Acústico em Edifícios de Habitação

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Presidente do Júri: Fernando Henriques, Doutorando, FCT-UNL

Orientador: Sónia Antunes, Doutorada, LNEC

Co-Orientador: Simona Fontul, Doutorada, FCT-UNL e LNEC

Arguente: Daniel Aelenei, Doutorando, FCT-UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2013

‘Copyright’ Miguel António Remechido Anjos, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Quero expressar o meu agradecimento à Dr.^a Sónia Antunes, pela orientação, pelo apoio e compreensão que sempre demonstrou comigo, pela disponibilização de elementos bibliográficos e por todo o empenho.

A todas as empresas, construtoras e promotoras que forneceram dados e contactos para garantir as autorizações necessárias para a distribuição do questionário.

A todos os inquilinos e residentes que ao responderem ao questionário tornaram esta dissertação possível no menor curto espaço de tempo.

Ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil e a todos os seus funcionários pela sua disponibilidade para me ajudarem e por todas as condições de trabalhos disponibilizadas.

Aos meus amigos e família que sempre me apoiaram em todos os momentos, em especial aos meus pais e irmão, a estes dedico a dissertação.

Resumo

A presente dissertação tem como objectivo realizar uma avaliação da percepção do conforto acústico no interior das habitações, pelos seus habitantes. Estes dados subjectivos foram posteriormente relacionados com os descritores físicos utilizados para a caracterização do desempenho acústico de elementos construtivos. Para as amostras seleccionadas, três empreendimentos em Lisboa, os resultados acústicos dos mesmos foram obtidos pela análise de diversas notas técnicas, realizadas pelo departamento de Acústica e Iluminação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal.

No âmbito deste estudo e em conjunto com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, e laboratórios congéneres europeus, desenvolveu-se um estudo, no formato de questionário, sobre as características de conforto acústico no interior dos edifícios de habitação em Portugal, o questionário COST TU0901.

O questionário foi analisado em três partes. A 1ª parte corresponde à análise das questões referentes aos dados pessoais, a 2ª parte contém questões que pretendem medir a percepção dos moradores ao ruído no último ano e a 3ª parte tenta medir a sensibilidade dos mesmos ao ruído.

Este estudo tem por base as respostas de 89 moradores de três empreendimentos, A,B e C, ao questionário mencionado anteriormente, que posteriormente foram analisadas através do programa de cálculo estatístico SPSS - *Statistical Package for the Social Science*.

Resultaram do estudo alguns indicadores comparáveis mas conclui-se que é essencial aumentar a amostra de casos de estudo para a apresentação de melhores resultados finais.

As respostas ao questionário ajudaram na definição das exigências apropriadas que devem integrar a legislação sobre os requisitos acústicos de edifícios. Estas exigências têm como finalidade a prevenção de construção de soluções construtivas inadequadas, e a definição de condições de conforto acústico satisfatório. Exigências demasiado restritivas, conduzem a preços de habitações desnecessários, e por esse facto é importante avaliar as opiniões dos residentes, e a correspondente percepção sobre a satisfação relativamente ao isolamento acústico dos edifícios.

Palavras-chave:

Transmissão sonora por via aérea; e
Conforto acústico.

Abstract

The purpose of this thesis is to evaluate the perception of acoustic comfort inside the buildings, by its inhabitants. Subsequently, this subjective data were related to physical descriptors used to characterize the acoustic performance of building elements. For the selected case studies, three residential buildings in Lisbon, the acoustic results were obtained by the analysis of several technical studies held by the Department of Acoustics of the Portuguese National Laboratory of Civil Engineering.

As part of this study and working with the National Laboratory of Civil Engineering, and European laboratories partners, the study was developed, in the form of questionnaire on the acoustic comfort features inside the residential buildings in Portugal, the questionnaire COST TU0901.

The questionnaire was analyzed in three parts. The 1st part corresponds to the analysis of issues relating to personal data, the 2nd part contains questions that seek to measure the perception of inhabitants to noise in the last year and the 3rd party attempts to measure their sensitivity to noise.

This study is based on the responses of 89 residents of three different units, A, B and C, the questionnaire mentioned above, which were subsequently analyzed using the statistical computer program SPSS - Statistical Package for Social Science.

Resulted from the study some comparable indicators but found that it is essential to increase the sample of case studies for the presentation of best final results.

The answers to the questionnaire helped in defining the appropriate requirements to be included in the legislation on the acoustic requirements of buildings. These requirements are intended to prevent construction of inadequate design solutions, and the definition of satisfactory acoustic comfort conditions. Too restrictive requirements, lead to unnecessary housing prices, and for that reason it is important to assess the opinions of residents, and the corresponding perception of satisfaction with the acoustic insulation of buildings.

Keywords:

Airborne sound transmission; and
Acoustic comfort.

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	MOTIVAÇÃO	1
1.2.	OBJECTIVOS	1
1.3.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	1
2.	DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO	3
2.1.	CONSIDERAÇÕES GERAIS	3
2.1.1.	<i>Intensidade sonora</i>	5
2.1.2.	<i>Potência sonora</i>	6
2.1.3.	<i>Tempo de reverberação</i>	6
2.1.4.	<i>Absorção sonora</i>	6
2.2.	ISOLAMENTO SONORO	7
2.2.1.	<i>Índice de redução sonora</i>	7
2.3.	EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES	11
2.4.	PRINCIPAIS MÉTODOS DE PREVISÃO DO ISOLAMENTO SONORO	14
2.4.1.	<i>Método Elasto-dinâmico</i>	14
2.4.2.	<i>Métodos da norma EN 12354</i>	14
2.4.3.	<i>Método da Análise Modal</i>	15
2.4.4.	<i>Método dos Elementos Finitos</i>	16
2.4.5.	<i>Método da Análise Estatística de Energia</i>	16
2.5.	MÉTODOS DE MEDIÇÃO DO ISOLAMENTO SONORO EM CAMPO	16
2.5.1.	<i>Sonómetro</i>	17
2.5.2.	<i>Microfone</i>	17
2.5.3.	<i>Calibrador</i>	18
2.5.4.	<i>Fontes sonoras</i>	18
2.5.5.	<i>Amplificador</i>	19
2.6.	NORMALIZAÇÃO NO ÂMBITO DA CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DE EDIFÍCIOS	19
3.	INCOMODIDADE AO RUÍDO	21
3.1.	CARACTERIZAÇÃO DA INCOMODIDADE AO RUÍDO	21
3.2.	RUÍDO DE VIZINHANÇA	21
3.3.	AVALIAÇÃO SUBJECTIVA DO CONFORTO ACÚSTICO, QUESTIONÁRIO COST ..	22
3.3.1.	<i>QUESTIONÁRIO COST TU0901</i>	22

3.3.2.	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A TRADUÇÃO PARA PORTUGUÊS	23
3.3.3.	MÉTODOS DE ANÁLISE DE RESULTADOS.....	24
4.	ANÁLISE DE RESULTADOS	25
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS.....	25
4.1.1.	Empreendimento A.....	25
4.1.2.	Empreendimento B.....	26
4.1.3.	Empreendimento C.....	27
4.1.4.	Resumo dos ensaios experimentais	27
4.2.	QUESTIONÁRIO	28
4.2.1.	Análise da 1ª parte do questionário- Dados pessoais.....	28
4.2.1.1	Varável sexo	29
4.2.1.2	Variável Idade	30
4.2.1.3	Variável Horário de Trabalho.....	31
4.2.1.4	Variável Anos de Habitação.....	32
4.2.1.5	Variável Agregado.....	33
4.2.2.	Análise da 2ª parte do questionário.....	34
4.2.3.	Análise da 3ª parte do questionário.....	35
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
6.	BIBLIOGRAFIA.....	43
7.	ANEXOS	45
	ANEXO I- QUESTIONÁRIO DISTRIBUÍDO NOS EMPREENDIMENTOS EM ESTUDO	45
	ANEXO II - GLOSSÁRIO	49
	Decibel.....	49
	Ruido aéreo	49
	Propagação sonora.....	49

ÍNDICE DE TABELAS

QUADRO 4-1- QUADRO RESUMO DE ÍNDICES SONOROS DOS ENSAIOS <i>IN-SITU</i>	27
QUADRO 4-2- ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VARIÁVEL SEXO	29
QUADRO 4-3- ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VARIÁVEL IDADE	30
QUADRO 4-4- ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VARIÁVEL HORÁRIO DE TRABALHO	31
QUADRO 4-5- ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VARIÁVEL ANOS DE HABITAÇÃO	32
QUADRO 4-6- ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VARIÁVEL AGREGADO.....	33
QUADRO 4-7- ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS EMPREENDIMENTOS (1/3)	34
QUADRO 4-8- ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS EMPREENDIMENTOS (2/3)	34
QUADRO 4-9- ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS EMPREENDIMENTOS (3/3)	34
QUADRO 4-10- ANÁLISE ESTATÍSTICA PARTE DE SENSIBILIDADE (1/2)	36
QUADRO 4-11- - ANÁLISE ESTATÍSTICA PARTE DE SENSIBILIDADE (2/2).....	36
QUADRO 4-12- ANÁLISE ATRAVÉS DO MÉTODO DE <i>KRUSCAL-WALLIS</i> AOS EMPREENDIMENTOS...	37
QUADRO 4-13- ESTATÍSTICAS TESTE A, B, 1	39
QUADRO 4-14- ESTATÍSTICAS TESTE A, B, 2	39
QUADRO 4-15- ESTATÍSTICAS TESTE A, B, 3	39
QUADRO 4-16- ESTATÍSTICAS TESTE A, B, 4	39
QUADRO 4-17- ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	40
QUADRO 4-18- RANKING DA ANÁLISE ESTATÍSTICA	40

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1 - DESIGNAÇÃO DO SOM NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA [3].....	4
FIGURA 2-2 - SENSIBILIDADE AUDITIVA DO OUVIDO HUMANO EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA E DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA [3].	4
FIGURA 2-3 - ILUSTRAÇÃO DA TRANSMISSÃO DE RUÍDO AÉREO ATRAVÉS DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS QUE FAZEM SEPARAÇÃO ENTRE COMPARTIMENTOS DE UM EDIFÍCIO [3].....	7
FIGURA 2-4 - TRANSMISSÃO DO RUÍDO AÉREO ATRAVÉS DOS ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO [3] ...	8
FIGURA 2-5 - ESPECTRO IDEALIZADO DO ISOLAMENTO SONORO PARA ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO HOMOGÊNEOS [5].....	10
FIGURA 2-6 - PROCESSO DE CÁLCULO DO VALOR ÚNICO DO ÍNDICE DE REDUÇÃO SONORA, R_w [22].	11
FIGURA 2-7 - SONÓMETRO.....	17
FIGURA 2-8 – MICROFONE.....	18
FIGURA 2-9 – CALIBRADOR.....	18
FIGURA 2-10 - FONTE SONORA	18
FIGURA 2-11- AMPLIFICADOR	19
FIGURA 4-1-ESTATÍSTICA DE DADOS SOCIODEMOGRÁFICOS	28
FIGURA 4-2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VARIÁVEL SEXO, PERCENTAGEM VÁLIDA.....	29
FIGURA 4-3- ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VARIÁVEL IDADE, PERCENTAGEM VÁLIDA.....	30
FIGURA 4-4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VARIÁVEL HORÁRIO DE TRABALHO, PERCENTAGEM VÁLIDA.....	31
FIGURA 4-5 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VARIÁVEL ANOS DE HABITAÇÃO, PERCENTAGEM VÁLIDA	32
FIGURA 4-6 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DA VARIÁVEL AGREGADO, PERCENTAGEM VÁLIDA	33
FIGURA 4-7 – ANÁLISE GRÁFICA DAS VARIÁVEIS SEXO E IDADE.....	34
FIGURA 4-8- MEDIANAS DAS PERGUNTAS COM RESULTADOS MAIS DIFERENTES DOS VÁRIOS EMPREENDIMENTOS	35

Lista de símbolos

A_0	Área de absorção sonora de referência para as salas de dimensões correntes em edifícios de habitação ($A_0 = 10 \text{ m}^2$);
A_2	Área de absorção sonora do compartimento recetor (m^2);
A_e	Parâmetro de avaliação da disponibilidade de espaço, ou seja, da espessura total (m^2);
A_{tot}	Área total de uma fachada (m^2);
$D_{2\text{m,n,w}}$	Índice de isolamento sonoro de fachadas (dB);
$D_{\text{n,w}}$	Índice de isolamento sonoro normalizado (dB);
$D_{\text{nT,w}}$	Índice de isolamento sonoro padronizado (dB);
R	Redução sonora (dB);
R_w	Índice de redução sonora (dB);
R'_w	Índice de redução sonora aparente (dB);
c_0	Velocidade de propagação do som no ar (m/s);
L_{aeq}	Nível sonoro contínuo equivalente;
$L'_{\text{nt,w}}$	Índice de isolamento sonoro a sons de precursão;
K_{ij}	Índice de redução de vibrações
I_a	Valor do índice de isolamento sonoro a sons aéreos

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Tendo em conta a crescente exigência por parte dos proprietários em termos de qualidade acústica das habitações, juntamente com o facto da regulamentação nacional actualmente em vigor obrigar à verificação das exigências nas condições de aplicação em obra, torna-se fundamental aprofundar a sensibilidade das pessoas à incomodidade ao ruído nas suas habitações.

1.2. Objectivos

O objectivo principal da presente dissertação é relacionar a percepção de conforto acústico dos inquilinos dos empreendimentos em estudo, com os parâmetros físicos que caracterizam o desempenho acústicos dos edifícios, obtidos por meio de ensaios *in situ*.

Este estudo limita-se a edifícios de habitação, os quais, para além de ocuparem a maior parte do património edificado, são também edifícios com importantes exigências de conforto acústico.

1.3. Metodologia

A metodologia adotada neste estudo consistiu em agregar os resultados obtidos nos questionários preenchidos pelos inquilinos dos empreendimentos e posteriormente analisar esses dados através do programa SPSS, de forma, a apresentar as devidas conclusões.

1.4. Estrutura da dissertação

Após o primeiro capítulo introdutório, a dissertação encontra-se dividida em quatro outros capítulos nos quais é desenvolvido o tema em estudo.

No capítulo 2 procede-se a uma revisão geral dos fundamentos teóricos relacionados com a acústica dos edifícios, em particular no que diz respeito à transmissão sonora por via aérea.

Inicialmente, procura-se focar os conceitos teóricos que estão na base dos métodos numéricos de previsão sonora por via aérea e dos ensaios de medição *in situ*. Posteriormente, descrevesse o processo de cálculo dos métodos em análise nesta dissertação, o que engloba a definição das principais expressões, grandezas e índices usados nestes mesmos métodos

No capítulo 3 procede-se à em primeiro lugar à caracterização da incomodidade ao ruído, seguido da definição de ruído de vizinhança e seus inconvenientes.

O último tópico deste capítulo aborda a avaliação subjectiva do conforto acústico através do questionário utilizado para este estudo, o questionário COST TU0901.

O capítulo 4 engloba a análise dos resultados resultante da correlação entre as respostas aos questionários da acção COST e os ensaios *in situ* realizados anteriormente pelo LNEC. O tratamento dos dados foi realizado através do programa estatístico SPSS.

Por fim, no capítulo 5, resumem-se as principais conclusões tendo em conta os resultados obtidos, referindo possíveis motivos e justificações para as tendências reveladas pelos mesmos. Por outro lado, são também descritas neste mesmo capítulo as principais dificuldades sentidas durante a elaboração da dissertação e algumas recomendações para estudos futuros.

2. DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Neste capítulo são apresentados e descritos os principais métodos numéricos de previsão da transmissão sonora por via aérea, os métodos de medição do isolamento sonoro *in situ*, a regulamentação acústica portuguesa no domínio dos edifícios.

Desta forma, numa primeira fase, torna-se essencial proceder à definição dos fundamentos teóricos relacionados com a acústica dos edifícios e, em particular, os referentes à transmissão aérea. Esta definição é feita ao longo da secção onde são introduzidos diversos conceitos, tais como a equação sonora em meio fluído, intensidade e potência sonoras, níveis sonoros, campos sonoros, tempo de reverberação e absorção sonora, bem como as principais considerações sobre a transmissão por via aérea e os índices usados no seu estudo.

Posteriormente, procede-se à definição dos métodos numéricos de previsão que são abrangidos por esta dissertação: Método elasto-dinâmico baseado na “Lei da massa” [1], Métodos detalhado e simplificado da norma EN 12354-1 [5]. Ainda nesta secção, são referidos outros métodos de previsão da transmissão por via aérea e as suas principais características e aplicabilidades [15].

2.1. Considerações gerais

A Acústica é uma ciência que estuda as oscilações e ondas ocorrentes em meios elásticos, e cujas frequências estão compreendidas entre 20 e 20.000 Hz. Estas oscilações e ondas são percebidas pelo ouvido como ondas sonoras [15].

No caso do meio de propagação corresponder ao ar, estas flutuações de pressão verificam-se relativamente à pressão atmosférica p_0 , sendo possível definir a pressão sonora através de:

$$p(t) = p(t) - p_0 \quad (2.1)$$

onde, $p(t)$ (Pa) corresponde à pressão sonora em função do tempo, $p(t)$ (Pa) se refere à pressão total e p_0 (Pa) é a pressão atmosférica [15].

Para que as flutuações de pressão sejam capazes de produzir uma sensação auditiva no sistema de audição humano, é necessário que a amplitude e a frequência dessas mesmas flutuações estejam dentro do domínio da audibilidade para o ser humano.

Com valores de frequência inferiores a 20 Hz definem-se os infra-sons e os ultra-sons correspondem a sons com frequência superior a 20 000 Hz. A gama de frequências audível pode ser dividida em sons graves, médios ou agudos.

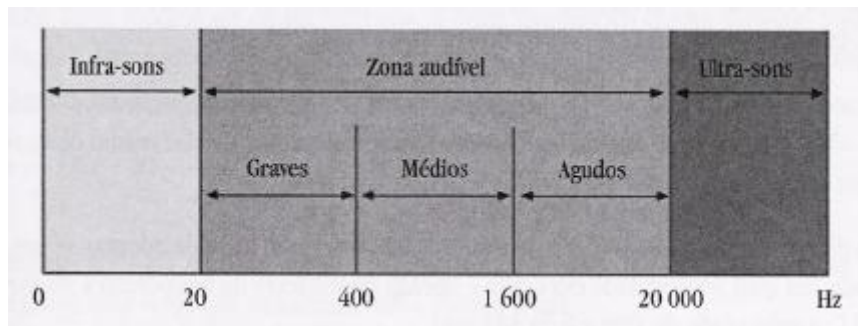


Figura 2-1- Designação do som no domínio da frequência [3].

Dada a grande extensão do intervalo de frequências referente à zona audível, torna-se mais prático a utilização de bandas de frequências constituídas por uma largura normalizada. As bandas de frequência são caracterizadas pelo valor central da frequência na largura total.

No domínio da acústica dos edifícios podem ser usadas bandas com largura de uma oitava o que corresponde a uma duplicação da frequência ou bandas com largura de um terço de oitava.

Como o intervalo da amplitude da pressão sonora é muito abrangente, é aconselhável recorrer-se à escala logarítmica em decibel.

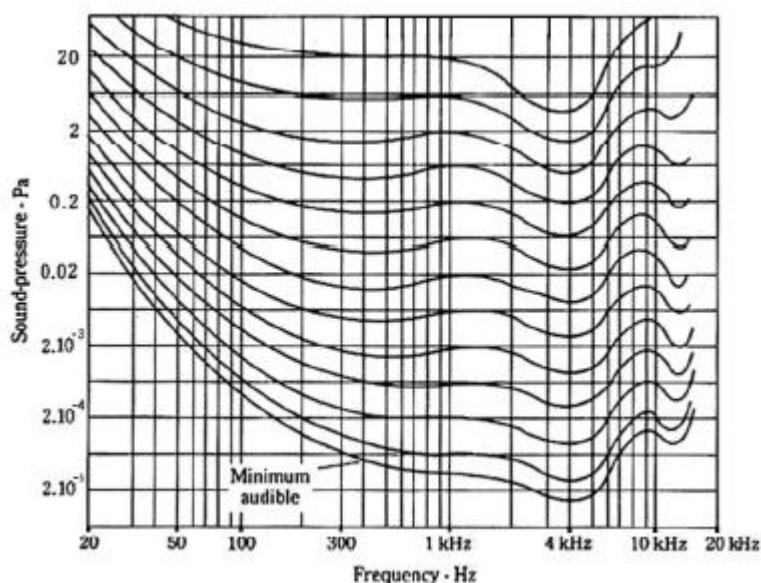


Figura 2-2 - Sensibilidade auditiva do ouvido humano em função da frequência e do nível de pressão sonora, curva de Fletcher, H. and Munson [4].

O estudo do conforto acústico de edifícios pode ser dividido fundamentalmente em dois diferentes tipos de transmissão sonora: por via aérea e por percussão.

A transmissão do som por via aérea resulta da excitação directa do ar por parte de uma dada fonte sonora, posteriormente transmitida aos elementos do edifício. Pode ter proveniência exterior, como é o caso do ruído rodoviário, ferroviário e aéreo, das obras de construção e da con-

versação, ou pode ter proveniência interior através da utilização de sistemas de ventilação e dos mais diversos tipos de equipamentos, para além da conversação e das actividades quotidianas.

A transmissão por percussão corresponde à transmissão sonora resultante de excitação mecânica exercida directamente sobre um elemento de compartimentação, podendo propagar-se a outros compartimentos devido à rigidez das ligações existentes. As fontes sonoras que estão na origem deste tipo de transmissão sonora têm apenas uma proveniência interna, como é o caso da deslocação de pessoas, da queda de objectos e do arrastar de móveis.

Na transmissão por via aérea existe a necessidade de assegurar um adequado isolamento, tanto ao nível da envolvente externa do edifício como dos elementos de compartimentação interior para os quais existem exigências regulamentares, na transmissão por percussão apenas é regulamentarmente exigido a verificação do conforto acústico no elemento de compartimentação que estabelece a separação entre compartimentos adjacentes segundo a direcção vertical. Nesta última situação, os elementos de fachada e da envolvente interior apenas podem contribuir para a transmissão marginal.

2.1.1. Intensidade sonora

A propagação sonora é um modo de transmissão da energia. Esta pode ser através dos meios líquido, sólido, gasoso, ou plasma, conforme o caso. No vácuo, o som não se propaga.

A percepção da propagação sonora se dá pela sensação auditiva criada pelo fenómeno acústico que consiste no deslocamento das ondas sonoras produzidas por um corpo que vibra em determinado meio material.

Uma intensidade sonora I ou potência P pode ser expressa em decibel através da equação:

$$I_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (2.2)$$

ou

$$P_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (2.3)$$

Onde I_0 e P_0 são as intensidades e potências de referência.

2.1.2. Potência sonora

O nível de potência sonora é independente da localização do equipamento das condições ambientais, e da distância do ponto de medição do nível de potência sonora que pode ser considerado o mais preciso dos dois, medido em decibel (dB).

2.1.3. Tempo de reverberação

O tempo de reverberação define-se como a duração requerida para que a média espacial da densidade de energia sonora num compartimento decresça de 60 dB após a emissão sonora haver cessado. Expresso em segundos.

O som dentro de um compartimento acústico percebe-se de forma diferente se for mudado para outro compartimento de dimensões diferentes. Essa diferença deve-se, basicamente, ao volume do ambiente. Na verdade, é o resultado directo da influência do tempo de reverberação da nova sala, que será outro, sempre se posicionar a caixa num ambiente de tempo de reverberação diferente. Serão percebidos alguns sons com frequências mais distintas. O que ocorre é a repetição de reflexões das mesmas frequências, mais concretamente das médias e graves.

A reflexão múltipla ocorre para todas as frequências e não apenas para uma. Na verdade, o fenómeno é denominado de Onda estacionária. Ou seja, a mesma onda reflecte-se a primeira vez, a segunda, a terceira, a quarta, percorrendo sempre o mesmo caminho. Como o nosso ouvido não distingue dois sons produzidos em tempo inferior a 1/17 de segundo entre eles (alguns autores adoptam 1/15), se essas reflexões ocorrem dentro de um tempo inferior a isso, percebemos apenas um som contínuo que vai perdendo "força" à medida que se reflecte mais vezes e é atenuado naturalmente. Se pelo menos uma das paredes, ou o tecto, estiver a mais de 17 m do plano que se lhe opõe, será ouvido o eco [4].

2.1.4. Absorção sonora

a. Absorção de ondas

As colisões geram uma maior vibração nas moléculas, e isso acarreta um aumento na temperatura. Como a conversão de energia sonora em calor é decorrente do aumento do movimento molecular, segue-se que a quantidade convertida dependerá da natureza dessas moléculas e da frequência/comprimento de onda do ultra-som. Essa impedância de diferentes substâncias encontradas no nosso corpo fará com que seja limitada a penetração do som nessas matérias. Mesmo no ar, dependendo da distância que se esteja de um rádio, pode-se ou não ouvir o seu som, por exemplo. Essa diminuição ocorre de forma exponencial [4].

b. Som

O som é uma oscilação na pressão do ar (ou de outro meio elástico) capaz de ser percebida pelo ouvido humano. O número de oscilações da pressão do ar por unidade de tempo definem sua frequência, enquanto a magnitude da pressão média define a potência e a intensidade sonora. A frequência é expressa em hertz (ou ciclos/segundo) e a pressão em pascal (ou newtons/m²), enquanto a potência é a energia emitida pela fonte sonora por unidade de tempo, expressa em joules/s ou W (considerando unidades do Sistema Internacional). A intensidade sonora pode ser definida como potência por unidade de área, expressa em watt/m². Essas escalas para medida de pressão, potência e intensidade das ondas sonoras são escalas lineares.

Contudo, a pressão, a potência e a intensidade dos sons captados pelo ouvido humano cobrem uma ampla faixa de variação. Por exemplo, um murmúrio irradia uma potência de 0.000 000 001 watt enquanto o grito de uma pessoa comum tem uma potência sonora de cerca de 0.001 watt; uma orquestra sinfônica chega a produzir 10 watts enquanto um avião a jacto emite 100 000 watts de potência ao decolar. Sendo assim, uma escala logarítmica, como o decibel, é mais adequada para medida dessas grandezas físicas. Por este motivo, são usadas as seguintes escalas logarítmicas [4].

2.2. Isolamento sonoro

2.2.1. Índice de redução sonora

O ruído aéreo é originado por fontes sonoras no exterior ou no interior dos fogos. Este propaga-se pelo ar e pode ser transmitido através dos elementos de construção.

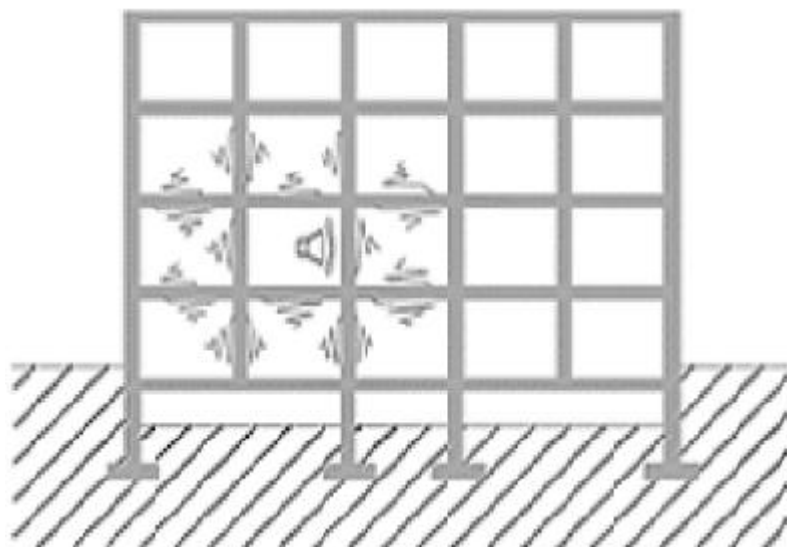


Figura 2-3 - Ilustração da transmissão de ruído aéreo através de elementos construtivos que fazem separação entre compartimentos de um edifício [13].

O coeficiente de transmissão sonora de um elemento construtivo de separação, sobre o qual incide, com um ângulo θ , uma onda sonora com frequência angular ω , é dado por:

$$\tau(\theta, \omega) = \frac{W_{trans}(\theta, \omega)}{W_{inc}(\theta, \omega)} = \frac{W_2}{W_1} \quad (2.4)$$

onde W_1 e W_2 são, respectivamente, a potência sonora incidente no elemento de separação e a potência sonora transmitida para o lado receptor. A potência sonora que interfere na estrutura pode ser transmitida directamente ou pode radiar pelas estruturas adjacentes (transmissão marginal).

Com a transmissão marginal, as superfícies adjacentes contribuem para transmitir ruído para o local receptor. Como consequência, o isolamento acústico do elemento de separação na presença de transmissão marginal é inferior ao isolamento em condições de laboratório.

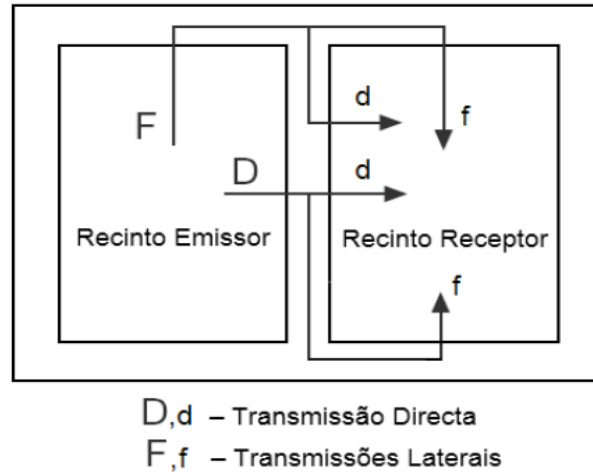


Figura 2-4 - Transmissão do ruído aéreo através dos elementos de construção [13]

Assume-se que, tanto no compartimento emissor, como no compartimento receptor, o campo sonoro é difuso, o que significa que a pressão sonora é sensivelmente constante em todo o volume do compartimento.

Nestas circunstâncias, a potência sonora incidente é obtida, através da intensidade do som em campos sonoros difusos, de acordo com:

$$W_1 = \frac{p_1^2}{4 \rho_0 c_0} \cdot S \quad (2.5)$$

onde: p_1 (Pa) é a pressão sonora no compartimento receptor, ρ_0 é a densidade estática do ar, c_0 é a velocidade do som no ar e S (m^2) é a área do elemento de separação do edifício.

A potência transmitida é calculada a partir da pressão sonora no compartimento receptor sonoro e é dada por:

$$W_2 = \frac{P_2^2}{4 \rho_0 c_0} \cdot A_2 \quad (2.6)$$

onde p_2 (Pa) e A_2 (m^2) são, respectivamente, a pressão sonora e a área de absorção sonora do compartimento receptor. Esta área de absorção pode ser determinada a partir dos coeficientes de absorção das superfícies interiores das paredes, tectos e pavimentos da sala receptora.

A redução sonora dos elementos de construção (medição em laboratório) é então dado por:

$$R = 10 \log \left(\frac{1}{\tau(\theta, \omega)} \right) \quad (2.7)$$

A formulação geral do índice de redução sonora,

$$R = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log \left(\frac{S}{A_2} \right) \quad (2.8)$$

onde L_{p1} (dB) e L_{p2} (dB) são os níveis médios de pressão sonora nos compartimentos emissor e receptor.

Para frequências bem acima da primeira frequência de ressonância do elemento construtivo de separação, a transmissão sonora é controlada pela massa superficial m'' do elemento de separação, de acordo com a expressão, geralmente designada por lei da massa,

$$R = 10 \log \left(\frac{m'' \cdot f \cdot \pi \cdot \cos \theta}{\rho_0 c_0} \right) \quad (2.9)$$

onde f (Hz) é a frequência da onda sonora.

O espectro idealizado do isolamento sonoro para uma placa fina e homogénea, de espessura uniforme,

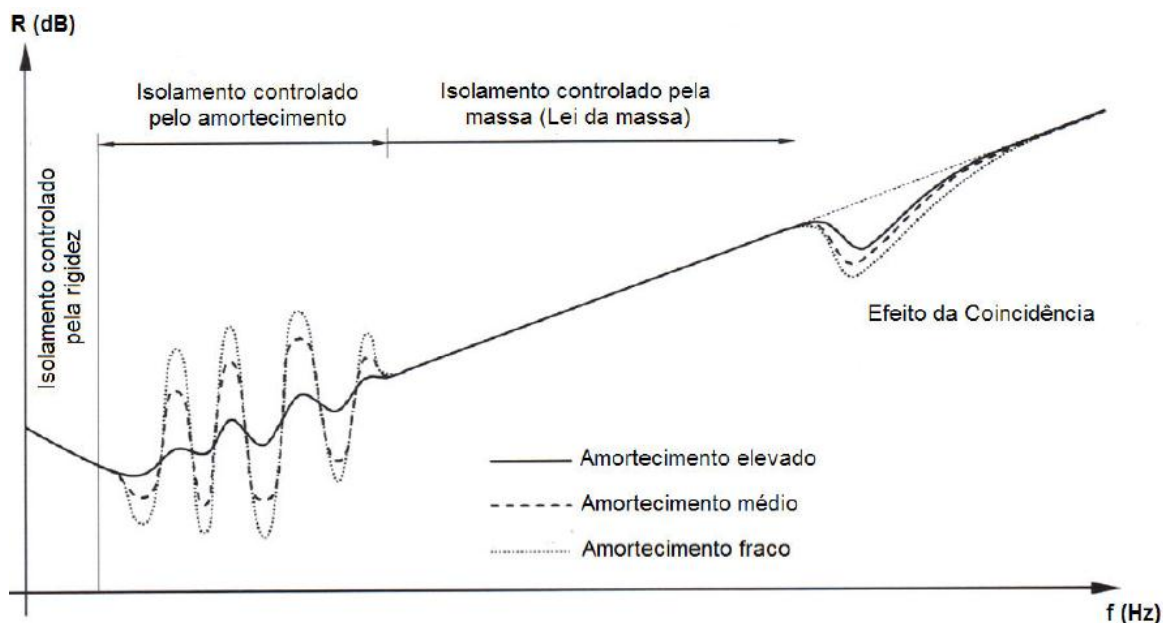


Figura 2-5 - Espectro idealizado do isolamento sonoro para elementos de construção homogêneos [5].

Normalmente, o isolamento a ruído aéreo aumenta 6 dB por banda de oitava tal como indicado pela lei da massa. Este comportamento pode ser modificado pelo efeito de coincidência, o qual ocorre quando a velocidade do som no ar iguala a velocidade de grupo (velocidade de transporte de energia de ondas dispersivas) das ondas de flexão na placa. Na frequência de coincidência ou crítica, f_c , ambos os movimentos ondulatórios considerados apresentam a mesma frequência, comprimento de onda, amplitude e velocidade, o que maximiza a interação entre os dois tipos de onda e facilita a propagação do som.

De modo a converter os valores de isolamento sonoro a sons de condução aérea, obtidos no domínio da frequência, num único valor, de modo a facilitar a comparação dos diversos elementos construtivos, e até mesmo o desempenho acústico de edifícios, é utilizada a metodologia descrita na norma ISO 717-1. Esta metodologia permite a obtenção do índice de redução sonora, a partir da comparação

A norma tem o objectivo de normalizar um método pelo qual os valores de isolamento sonoro a sons de condução aérea, obtidos no domínio da frequência, sejam convertidos para um índice.

O Índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea é o valor, em decibéis, da ordenada da curva de referência, na banda de frequências de 500 Hz.

Os valores obtidos de acordo com as normas ISO 10140-2, ISO 140-4 e ISO 140-5 são comparados com os valores de referência nas bandas das frequências de medição, na gama de 100

Hz a 3150 Hz, quando se consideram bandas de frequências com a largura de um terço de oitava, e na gama de 125 Hz a 2000 Hz, quando se consideram bandas de frequências com a largura de uma oitava [20].

Para determinar o índice de isolamento sonoro a partir dos resultados de uma medição, ajusta-se a curva de referência, por patamares de 1 dB (0,1 dB se a incerteza for indicada), relativamente à curva dos valores medidos, de modo a que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível mas não superior a 32,0 dB (para medições em 16 bandas de terços de oitava) ou 10,0 dB (para medições em 5 bandas de oitava [20]).

Sobrepondo esta curva de referência ao espectro de R, é possível ajustar a sua posição de forma que o valor médio dos desvios desfavoráveis, calculado pela divisão da soma dos desvios desfavoráveis pelo número total de bandas de frequência consideradas no ensaio, seja o mais elevado possível, mas sem ultrapassar o valor de 2 dB. O índice de redução sonora, R_w , corresponde ao valor da ordenada da curva de referência, na posição ajustada, para a frequência de 500 Hz. Este procedimento é ilustrado na Figura 2 - 6:

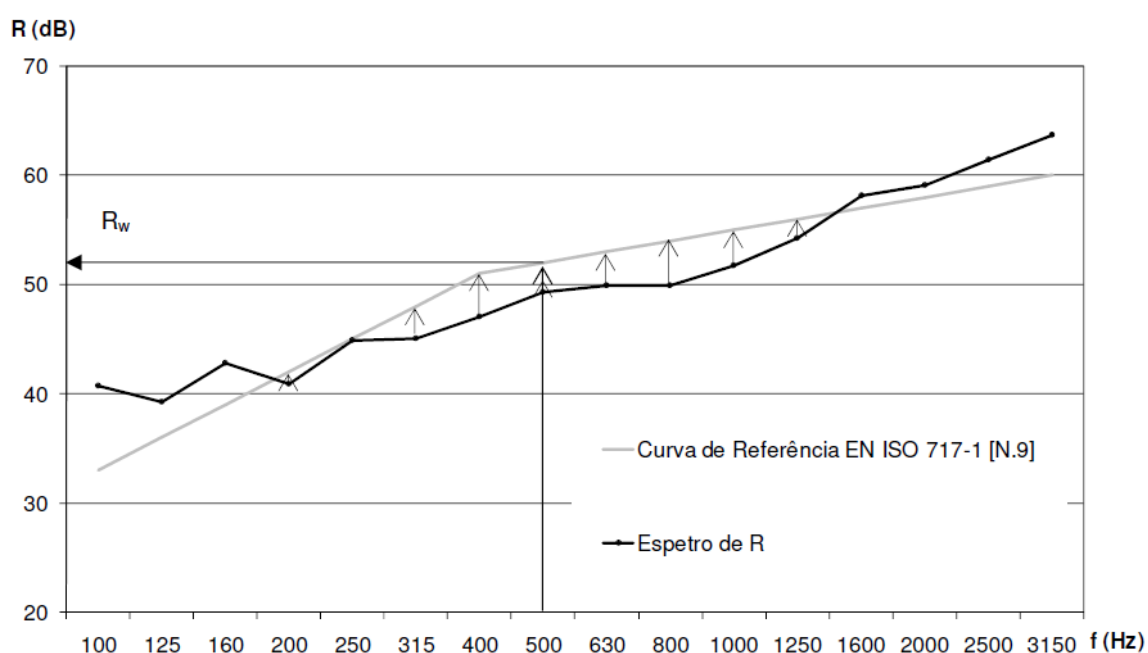


Figura 2-6 - Processo de cálculo do valor único do índice de redução sonora, R_w [22].

2.3. Exigências regulamentares

A regulamentação em vigor resume-se essencialmente ao Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE), aprovado no Decreto-Lei 17/08 de 9 de Junho de 2008, e aplica-se a diversos tipos de edifícios, designadamente a edifícios: habitacionais e mistos; comerciais; industriais e/ou de serviços; escolares e de investigação; hospitalares; desportivos; e estações de transporte de passageiros.

O descritor de isolamento a sons aéreos utilizado na legislação portuguesa é índice de isolamento sonoro padronizado, $D_{nT,w}$ (dB).

O artigo 5º do RRAE, estabelece as seguintes exigências para elementos de construção que separem:

“...

1 - Os edifícios e as suas fracções que se destinem a usos habitacionais ou que, para além daquele uso, se destinem também a comércio, indústria, serviços ou diversão, estão sujeitos ao cumprimento dos seguintes requisitos acústicos [23]:

a) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{2m,nT,w}$, entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos deve satisfazer o seguinte [23]:

i) $D_{2m,nT,w} \geq 33$ dB, em zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;

ii) $D_{2m,nT,w} \geq 28$ dB, em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído;

iii) Os valores limite dos índices referidos nas subalíneas i) e ii) são acrescidos de 3 dB, quando se verifique o disposto no n.º 7 do artigo 12.º do Regulamento Geral do Ruído;

iv) Quando a área translúcida for superior a 60% do elemento de fachada em análise, deve ser adicionado ao índice $D_{2m,nT,w}$ o termo de adaptação apropriado, C ou C_m , conforme o tipo de ruído dominante na emissão, mantendo -se os limites das subalíneas i) e ii);

b) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, entre compartimentos de um fogo, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar de outro fogo, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte [23]:

$$D_{nT,w} \geq 50 \text{ dB}$$

c) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, entre locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte [23]:

$$i) D_{nT,w} \geq 48 \text{ dB};$$

ii) $D_{nT,w} \geq 40$ dB, se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores;

$$iii) D_{nT,w} \geq 50 \text{ dB, se o local emissor for uma garagem de estacionamento automóvel};$$

d) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT,w}$, entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte [23]:

$$D_{nT,w} \geq 58 \text{ dB} \tag{2.10}$$

e) No interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT, w}$, proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos dos outros fogos ou de locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte [23]:

$$L'_{nT, w} \leq 60 \text{ dB} \quad (2.11)$$

i) $D_{nT, w} \geq 48 \text{ dB}$;

ii) $D_{nT, w} \geq 40 \text{ dB}$, se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores;

iii) $D_{nT, w} \geq 50 \text{ dB}$, se o local emissor for uma garagem de estacionamento automóvel;

d) O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D_{nT, w}$, entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte [23]:

$$D_{nT, w} \geq 58 \text{ dB} \quad (2.12)$$

e) No interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT, w}$, proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos dos outros fogos ou de locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte [23]:

$$L'_{nT, w} \leq 60 \text{ dB} \quad (2.13)$$

f) A disposição estabelecida na alínea anterior não se aplica, se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores [23];

g) No interior dos quartos ou nas zonas de estar dos fogos, como locais receptores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'_{nT, w}$, proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte [23]:

$$L'_{nT, w} \leq 50 \text{ dB} \quad (2.14)$$

...”

2.3.1. Método Elasto-dinâmico

O método elasto-dinâmico [3] tem origem conceptual num modelo inercial, integrando o efeito de rigidez (flexão, fundamentalmente) e o amortecimento interno.

Baseado na “Lei da massa”, o método elasto-dinâmico é um método de cálculo do isolamento sonoro. Contudo, é bastante simplificado, pois não considera os fenómenos dinâmicos de ressonância e coincidência, que são responsáveis por quebras significativas ao nível do isolamento. Por esse motivo, este método só deve ser aplicado a elementos constituídos por painéis simples. Devido a estas limitações, têm sido conduzidos diversos estudos com o objectivo de encontrar correcções que permitam aproximar este método da realidade [3].

2.4. Principais métodos de previsão do isolamento sonoro

Dado que a indústria da construção está em constante evolução, o número de soluções técnicas e materiais disponíveis para um melhor isolamento sonoro é cada vez mais vasto. Considerando ainda a crescente exigência ao nível da qualidade acústica, não é de surpreender que a utilização de métodos de previsão do isolamento sonoro seja cada vez mais uma ferramenta indispensável para a tomada de decisões durante a fase de projeto.

Entre os vários métodos de previsão do isolamento sonoro, destacam-se os seguintes:

- Método Elasto-dinâmico (baseado na “Lei da massa”) [1];
- Métodos das Normas EN 12354-1 e EN 12354-3 [3];
- Método da Análise Modal;
- Método dos Elementos Finitos (FEM);
- Método da Análise Estatística de Energia (SEA).

Seguem-se algumas considerações gerais sobre cada um destes métodos:

2.4.1. Métodos da norma EN 12354

A Norma Europeia EN 12354 - “*Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements*” foi publicada com o objectivo de especificar métodos de cálculo no âmbito da acústica de edifícios, sendo que se encontra dividida em seis partes distintas. No âmbito desta dissertação, é mencionado apenas duas dessas partes: a EN12354-1 [2] e a EN12354-3 [1].

Relativamente à primeira, a norma EN 12354-1, existem dois métodos de previsão da transmissão sonora por via aérea: o método detalhado e o método simplificado, sendo este último deduzido a partir do primeiro.

Ambos os modelos de cálculo contidos nesta norma possuem algumas limitações, nomeadamente:

- A transmissão sonora deve acontecer entre dois compartimentos adjacentes;
- O campo de aplicação envolve apenas estruturas monolíticas e homogéneas, embora possa ser alargado a outro tipo de estruturas se consideradas determinadas correcções;
- Só podem ser usadas combinações de elementos para os quais o índice de redução de vibrações K_{ij} seja conhecido ou possa ser estimado a partir de valores conhecidos;
- São baseados em teorias clássicas do isolamento sonoro onde são considerados compartimentos com campo sonoro difuso, o que pode não se verificar para baixas frequências;
- Apenas são válidos para frequências superiores a 100 Hz [3].

Método detalhado

No método detalhado, o coeficiente de transmissão global pode ser obtido como a soma de vários coeficientes de transmissão parciais, os quais dizem respeito a três tipos de transmissão sonora: transmissão directa através do elemento de separação; transmissão indirecta através de um dos elementos da envolvente; transmissão directa e indirecta devido à presença de outras vias de propagação no elemento de separação ou num elemento da envolvente, respectivamente [3].

Método simplificado

Deduzido a partir do método detalhado, o método simplificado apenas contabiliza a transmissão que se propaga através dos próprios elementos, ou seja, o meio sólido.

É importante referir que no método simplificado é usado o valor único dos índices de redução sonora R_w , referentes aos elementos da envolvente e de separação [3].

2.4.2. Método da Análise Modal

A análise modal é um método bastante utilizado no estudo de problemas relativos à vibração de um qualquer sistema estrutural. Este método permite estimar certos parâmetros modais, tais como a frequência natural, o factor de amortecimento e a configuração modal de um dado elemento, quando submetido a uma excitação de natureza pontual ou distribuída.

A precisão dos resultados obtidos através do método de análise modal depende essencialmente da precisão com que os parâmetros modais podem ser obtidos, bem como do número de modos considerados na análise [3].

2.4.3. Método dos Elementos Finitos

O método dos elementos finitos (FEM) é usado no estudo da propagação de vibrações através de uma determinada malha. A sua grande vantagem é permitir definir a complexidade das condições de fronteira de sistemas [3].

Este método consiste na resolução de um conjunto de equações parciais através da subdivisão do sistema estrutural em elementos de dimensões finitas. Deste modo, é constituída uma malha que pode ser utilizada na previsão da transmissão sonora [3].

2.4.4. Método da Análise Estatística de Energia

O método da análise estatística (SEA) é usado na estimação de níveis sonoros em diversos pontos de um edifício, resultantes da acção mecânica de choque sobre um elemento.

Este método tem vindo a ser aplicado com sucesso à transmissão sonora para médias e altas frequências. Uma das suas vantagens é não necessitar de detalhes muito específicos em relação às propriedades dos materiais aplicados e suas dimensões [3].

2.5. Métodos de medição do isolamento sonoro em campo

Em geral, as medições da acústica de edifícios podem ser divididas em duas categorias: medições em laboratório, que permitem obter informações sobre soluções a adotar na fase de projeto; e medições *in situ*, que permitem realizarem uma avaliação de conformidade entre os valores obtidos em obra e os valores constantes no projeto acústico ou com as exigências regulamentares.

Como indicado no capítulo 1 da presente dissertação, não fez parte deste estudo a realização dos ensaios *in situ*, o trabalho foi baseado nas notas técnicas [9], [10], [11], [12], [13] e [14] realizadas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil sobre os imóveis em análise. No entanto, foi realizada uma simulação de um ensaio e os equipamentos utilizados e também mencionados nas notas técnicas utilizados nos ensaios de medição são os seguintes:

- Sonómetro;
- Microfone;
- Calibrador;
- Amplificador;
- Fontes sonoras.

2.5.1. Sonómetro

O sonómetro consiste num analisador em tempo real preparado para recolher uma grande quantidade de dados da acústica em espectros de uma oitava ou um terço de oitava, podendo medir numa gama de valores em frequência um intervalo de valores de frequência e nível sonoro comparáveis com o ouvido humano.



Figura 2-7 - Sonómetro

2.5.2. Microfone

A escolha do tipo e tamanho do microfone deve ter em atenção as características do campo sonoro a ser medido.

Nas medições em acústica de edifícios é recomendado o uso de microfones omnidireccionais, isto é, que a resposta seja independente da direcção do som.

A maioria das principais propriedades dos microfones varia quando se comparam microfones com diâmetros diferentes. Para diâmetros mais pequenos, a sensibilidade do microfone tende a ser menor, assim como a sua direccionalidade, no entanto, a sua faixa de frequência de resposta será mais larga. Para diâmetros maiores, a sua sensibilidade e a sua direccionalidade tendem a ser maiores mas funcionam numa faixa de frequências mais estreita [3].



Figura 2-8 – Microfone

2.5.3. Calibrador

Antes de cada utilização do sonómetro é recomendável ajustar toda a cadeia de medição, utilizando-se para o efeito um calibrador acústico. Este equipamento é uma fonte sonora que gera um nível de pressão sonora específica (usualmente de 94 dB), a uma determinada frequência (1000 Hz) [3].



Figura 2-9 – Calibrador

2.5.4. Fontes sonoras

Elemento que tem como finalidade produzir ruídos para realizar os ensaios pretendidos.



Figura 2-10 - Fonte sonora

Devido a necessidade de se utilizarem potências sonoras muito elevadas, são normalmente utilizados amplificadores sonoros, conjuntamente com as fontes.

2.5.5. Amplificador

Nestes ensaios, o amplificador é utilizado com a função de aumentar o sinal emitido pela fonte.



Figura 2-11- Amplificador

2.6. Normalização no âmbito da caracterização acústica de edifícios

De seguida são apresentadas algumas normas utilizadas na caracterização do desempenho acústico de edifícios:

NP EN ISO 140-4

Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 4: Medição *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos entre compartimentos (1998) [17].

NP EN ISO 140-5

Esta Norma prescreve dois grupos de métodos (métodos de elementos e métodos globais) para medição do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e de elementos de fachada.

Os métodos de elementos destinam-se a avaliar o índice de redução sonora de um elemento de fachada, por exemplo uma janela. Pode ser utilizado como fonte sonora, um altifalante, ou o ruído de tráfego existente.

Os métodos globais destinam-se, por outro lado, a avaliar a diferença de nível sonoro exterior/interior nas condições reais de tráfego. O método global com altifalante conduz à determinação da redução sonora de uma fachada relativamente a um ponto de medição exterior colocado a 2 m dessa fachada [18].

NP EN ISO 140-7

Medição do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 7: Medição, *in situ*, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão (ISO 140-7:1998).

Esta norma especifica um método para a medição, *in situ*, do isolamento sonoro de pavimentos a sons de percussão, utilizando uma máquina de percussão normalizada. O presente método aplica-se a pavimentos não revestidos e com revestimentos de piso aplicados [19].

NP EN ISO 717-1

Determinação do isolamento sonoro de edifícios e de elementos de construção. Parte 1: Isolamento sonoro a sons de condução aérea [20].

NP EN ISO 3382-2

Esta parte da norma ISO 3382 especifica métodos para a medição do tempo de reverberação de compartimentos usuais (descreve o procedimento de medição, o equipamento necessário, o numero de posições de medição e o método para avaliação dos dados e apresentação de resultados) [21].

- Correção dos valores obtidos de NPS relativos ao funcionamento de fontes sonoras;
- Correção das medições de isolamento sonoro; e
- Comparação dos requisitos relativos ao tempo de reverberação em compartimentos.

NP EN ISO 16032

Especifica métodos para a medição do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, L_{Aeq} , devido ao funcionamento de equipamentos colectivos de edifício, explicitando os ciclos e as condições de funcionamento que devem ocorrer durante a medição. Estes procedimentos são adequados quando os compartimentos onde são realizadas as medições têm dimensões inferiores a 300 m³. As medições do tempo de reverberação devem ser efectuadas de acordo com a norma ISO 3382-2 [22].

3. INCOMODIDADE AO RUÍDO

Entende-se por ruído um som desagradável ou indesejável, contudo, a percepção de ruído varia consoante as pessoas, os momentos e os locais, motivo pelo qual é difícil determinar objectivamente a incomodidade [4].

Este capítulo irá abordar o conjunto de normas definidas para caracterização e avaliação da incomodidade ao ruído.

3.1. Caracterização da incomodidade ao ruído

Tendo em conta os seus diferentes significados, não é fácil conceptualizar e definir a incomodidade ao ruído. Dado que é um conceito que depende não só da linguagem utilizada, como do contexto cultural onde o indivíduo se insere, muitas têm sido as abordagens de natureza disciplinar discutidas ao longo dos anos.

Primeiramente introduzido por Zwicker e Fastl [13], o conceito de incomodidade sensorial corresponde à resposta, em termos de incomodidade, apresentada pelos indivíduos exclusivamente devida ao estímulo, em condições de laboratório, e onde a relação com a natureza da fonte sonora não está presente, ou seja, tenta desvincular uma possível relação entre o auditor e a fonte sonora, passíveis de gerar enviesamentos.

Para eliminar esta dependência, foram utilizados ruídos que não fossem reconhecíveis. Todo o conceito foi elaborado tendo em conta a hipótese que a incomodidade é provocada apenas pelos sons, eliminando assim outros tipos de interação sensorial.

3.2. Ruído de vizinhança

Entende-se por ruído de vizinhança o ruído associado ao uso habitacional e às actividades que lhe são inerentes, sendo por isso mais frequente em áreas de grande densidade populacional. Tal ruído pode ser produzido directamente ou por intermédio de outrem, coisa ou animal sob a sua responsabilidade. Quando o dito ruído, quer pela sua duração ou intensidade, seja susceptível de afectar a saúde pública ou a tranquilidade da vizinhança, pode ser sancionado pelas autoridades competentes.

Facilmente se entende como o ruído de vizinhança se possa caracterizar como incómodo, e daí a necessidade da criação de normas para minimizá-lo, nomeadamente no que ao conforto acústico diz respeito.

3.3. Avaliação subjetiva do conforto acústico

O LNEC a par com os laboratórios congéneres europeus, desenvolveu um estudo sobre as características de conforto acústico no interior dos edifícios de habitação em Portugal. Para o presente estudo vários edifícios foram selecionados devido ao LNEC ter realizado testes *in situ* aos mesmos.

O objectivo final deste trabalho é comparar a sensibilidade das pessoas aos diferentes ruídos e os valores registados através de ensaios *in situ*.

3.3.1. Questionário Cost TU0901

O questionário utilizado neste estudo foi desenvolvido no âmbito da ação Cost TU0901, e foi distribuído no correio dos inquilinos de três empreendimentos em Lisboa. [24]. Esta acção tinha como objectivo principal a harmonização dos valores para sons aéreos e o impacto do isolamento acústico entre habitações e para isolamento sonoro de fachadas, bem como determinar um esquema de classificação europeu, com um número de classes de qualidade. Na Europa, os requisitos regulamentares em relação ao desempenho acústico de edifícios diferem amplamente em valores de desempenho e valores-limite [24]). A diversidade (indicadores, medidas entre as classes, grau de tranquilidade alcançado, etc.) é um obstáculo para a troca de experiências, desenvolvimento e comércio. A harmonização dos valores e níveis de classes de isolamento sonoros por desempenho é importante para progredir e melhorar as condições acústicas de habitabilidade. A acção pretendeu estimular a inovação, apoiar a sustentabilidade através de objectivos de pesquisa e desenvolvimento simplificados, reduzir as barreiras comerciais entre Estados-Membros e facilitar a comercialização.

O modelo das questões efectuadas segue o padrão desenvolvido na norma ISO/TS 15666 [16], tendo-se, para a versão portuguesa:

- Relativamente ao período de tempo que abrangido: tomando em consideração os últimos mais ou menos 12 meses;
- Pessoa que avalia a questão: o inquilino;
- Local a que diz respeito o questionário: a casa do inquilino;
- Tipo de resposta para escolha: em que medida (número de 0 a 10), correspondente a uma escala numérica de 11 pontos;
- Fonte de ruído: o ruído emitido pelas fontes abaixo indicadas;
- Palavra para aceder à incomodidade induzida ao ruído: incomoda ou perturba

O questionário encontra-se estruturado nos seguintes blocos:

1. Introdução, com a explicação dos objectivos e propósito do questionário, e a descrição de um exemplo de como responder as perguntas;
2. Dados pessoais;
3. Questão geral sobre ruído (Q1);
4. Questões sobre a incomodidade induzida por diferentes fontes (Q2 a Q14);
5. Questão sobre expectativas relativamente ao isolamento sonoro (Q15);
6. Questões sobre a sensibilidade ao ruído (Q16 e 9 questões sobre a sensibilidade ao ruído do questionário de Weinstein).

Analisando as respostas e os tipos de fonte de ruído do questionário [Anexo I] correlaciona-se as seguintes perguntas com os seguintes descritores:

- Questões 2; 3; 4; 7 e 12, correlacionadas com $D_{nT,w}$;
- Questões 5; 6 e 8 correlacionadas com $L'_{nT,w}$;
- Questões 12 e 13 correlacionadas com $D_{2m,nT,w}$;
- Questões 9; 10 e 11, correlacionadas com $L_{Ar,nT}$; e
- Questão 14, correlacionada com $D_{nT,w}$ e $L'_{nT,w}$.

3.3.2. CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A TRADUÇÃO PARA PORTUGUÊS

O questionário em estudo foi traduzido para Português por mim com auxílio de variada documentação. De seguida, foi distribuído internamente no LNEC a cerca de 10 pessoas de forma a darem a sua opinião sobre vários aspectos do questionário e quais as possíveis melhorias, solicitando-se-lhes a resposta as seguintes questões:

- Aspecto visual do questionário;
- Facilidade de preenchimento;
- Extensão e duração de preenchimento.

Esta etapa tornou-se bastante relevante para a definição do questionário, visto que, foram detectadas algumas inconsistências e possíveis melhorias.

De referir que foram acrescentadas 9 questões ao questionário inicial em inglês [Anexo I], para, aferir a sensibilidade ao ruído em diferentes situações [24], de acordo com o questionário harmonizado de *Weinstein*. Este procedimento conduz a uma caracterização mais alargada da sensibilidade ao ruído, não se restringindo somente a sensibilidade ao ruído quando o indivíduo permanece na sua habitação.

3.3.3. MÉTODOS DE ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise dos resultados obtidos dos inquéritos foi efetuada no programa SPSS, recorrendo a regressões lineares, entre os valores médios das avaliações subjectivas e os valores médios dos descritores de isolamento sonoro obtidos por medição (para as questões 2 a 14). A utilização de valores médios permite a minimização de variações devidas a casos individuais. No entanto, outro tipo de análise poderá ser efectuado, com recurso a algoritmos de classificação (por exemplo a análise de aglomerados). Mas a simplicidade e a facilidade de interpretação do método de regressão linear, sem grandes algoritmos matemáticos complexos permite um fácil intercâmbio de dados entre diferentes intuições, sem a necessidade de conversão de escalas. Caso seja necessário um ajuste adicional à recta de regressão, poderão ser utilizados os resultados das questões relativamente às expectativas (questão 15) e a sensibilidade ao ruído (questão 16, e 9 questões do questionário reduzido de *Weinsten*) [24].

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se o tratamento dos resultados obtidos nos inquéritos efectuados, nomeadamente o inquérito ao “Estudo sobre o conforto acústico no interior da sua habitação” [Anexo I].

O tratamento estatístico dos questionários foi realizado através do programa SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*, 3ª Edição). É um *software* de análise estatística para a apresentação dos resultados de análise de dados de utilização predominante nas Ciências Sociais e Humanas [8]. Apesar do programa ter sido concebido para um público-alvo das ciências sociais, actualmente é utilizado em todas as áreas de conhecimento: das ciências exactas às ciências da engenharia e econometria.

Previamente a este estudo foram realizados ensaios experimentais em diferentes empreendimentos, que à frente serão denominados de A, B e C.

4.1. Caracterização dos empreendimentos

Foram objecto de análise para este estudo, 3 empreendimentos na cidade de Lisboa. Por questões de confidencialidade não serão incluídos os dados dos mesmos (morada, fotografias e outros).

4.1.1. Empreendimento A

Este empreendimento é constituído por 4 blocos de edifícios residenciais de 6 pisos cada. Apresenta em cada piso uma deficiente organização dos fogos e dos respectivos espaços, originando queixas entre os moradores.

De referir, também, que acresce a esta situação de incomodidade o facto de o local de implantação do edifício, ser bastante sossegado, com níveis sonoros no exterior da ordem de $L_{Aeq}=45$ dB (A).

As medições para verificação da conformidade foram realizadas conforme as normas europeias:

- EN ISO 140-4:1998;
- EN ISO 140-7:1998;
- EN ISO 717-1:1996; e
- EN ISO 717-2:1996.

Dos ensaios efectuados e resultados obtidos pode concluir-se o seguinte:

-
- a) O valor do índice de isolamento sonoro a sons aéreos, I_a , é bastante inferior aos limites mínimos que a legislação impõe. Revela incomodidade, principalmente durante o período nocturno; e
- b) Relativamente aos valores obtidos para fogos sobrepostos estes encontram-se em conformidade com os limites mínimos estabelecidos pela legislação vigente.

Nota: Não consta da nota técnica [9] o detalhe das soluções construtivas nem o ano de construção do empreendimento.

4.1.2. Empreendimento B

Este empreendimento é constituído por 3 blocos de edifícios residenciais de 7 pisos cada. De referir que segunda a correspondente nota técnica [9] a parte opaca é constituída por:

- Reboco ($e=0,03m$);
- Alvenaria de tijolo ($e=0,2m$);
- Reboco ($e=0,02m$);
- Caixa-de-ar ($e=0,02m$);
- Isolamento de lã mineral ($e=0,048m$); e
- Placa de gesso cartonado ($0,012m$).

As janelas são de correr com duas folhas, perfis de alumínio “termolacado” e dimensões de 1,50,m por 1,00m. O vidro aplicado é duplo, constituído por um painel exterior de 6mm, caixa-de-ar de 10mm e painel interior de 4mm.

Os ensaios *in-situ* registaram valores que comprovam que os elementos se encontram conforme a legislação.

A legislação aplicada foi a seguinte:

- DL nº 292/2000, Regime Legal sobre a Poluição Sonora (RLPS);
- DL nº 259/2002, Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE);
- NP EN ISO 140-4: 2000; e
- NP EN ISO 717-1:1996.

Nota: Não consta das notas técnicas [7], [8], [9] e [10] o ano de construção do empreendimento.

4.1.3. Empreendimento C

Este empreendimento é constituído por 2 blocos de edifícios residenciais de 7 pisos cada.

As medições para verificação da conformidade foram realizadas conforme as normas europeias:

- EN ISO 140-4:1998;
- EN ISO 140-5:1998; e
- EN ISO 717-1:1996.

Nota: Não consta da nota técnica [11] o detalhe das soluções construtivas nem o ano de construção do empreendimento.

4.1.4. Resumo dos ensaios experimentais

Os ensaios experimentais foram realizados por técnicos do LNEC a pedido dos diferentes condomínios, de forma a avaliar a qualidade e conforto acústico dos mesmos. Estes ensaios realizados *in-situ* nos diversos empreendimentos em estudo registaram os valores indicados no seguinte quadro:

Quadro 4-1- Quadro resumo de índices sonoros dos ensaios *in-situ*

Empreendimento	L_{aeq}	R'_w	$D_{2m,nt,w}$	$L'_{nt,w}$		$D_{n,w}$	
				Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
A	45	51	-	-	-	51	43
B	59,5	-	33,5	-	-	-	-
C	-	-	35,5	73	78	48	51

É importante referir que não existe nenhuma relação directa entre os dados dos três empreendimentos em estudo. Os dados foram relacionados e comparáveis apenas entre 2 amostras por variável.

4.2. Questionário

O questionário vai ser analisado na presente dissertação por partes. A 1ª parte corresponde à análise das questões referentes aos dados pessoais. A 2ª parte contém questões que pretendem medir a percepção dos moradores ao ruído no último ano e por fim a 3ª parte que tenta medir a sensibilidade dos mesmos ao ruído.

4.2.1. Análise da 1ª parte do questionário - Dados pessoais

Foi realizada a análise estatística à amostra a partir dos dados sociodemográficos, sendo que houve vários sujeitos que não preencheram esta parte (*missing values*).

No quadro seguinte encontra-se um resumo da análise estatística da primeira parte do questionário, os dados pessoais.

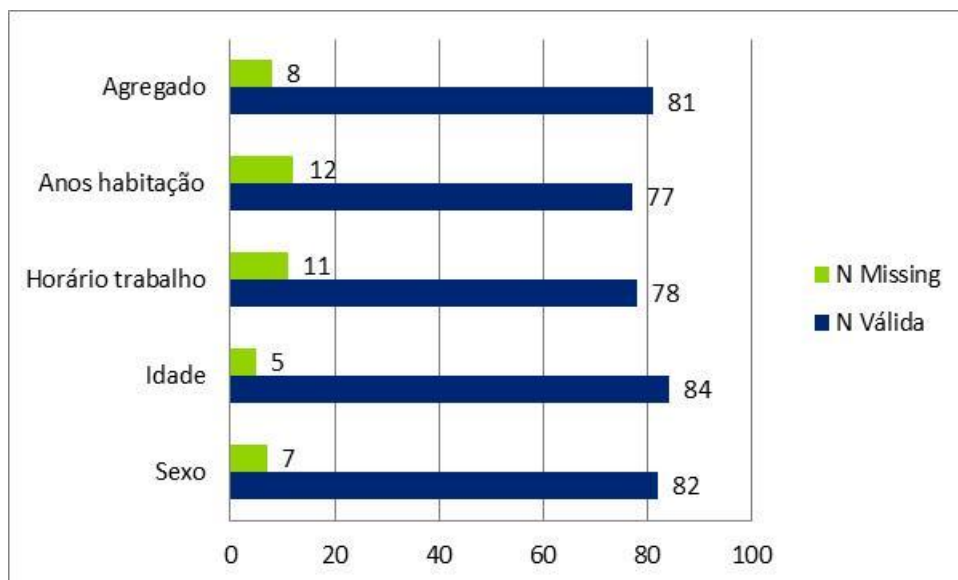


Figura 4-1-Estatística de dados sociodemográficos

Referente aos dados sócios demográficos da amostra recolhida, as variáveis horário de trabalho e anos de habitação foram as que tiveram mais *missing values* (figura 4 – 1).

A variável Idade foi a que teve mais respostas válidas e a variável anos de habitação a que menos teve.

Analisando as diferentes variáveis independentemente, concluímos que a amostra em estudo teve os seguintes resultados:

4.2.1.1 Varável sexo

Quadro 4-2- Análise estatística da variável Sexo

Amostra		Frequência	Percentagem	Percentagem válida	Percentagem acumulada
Válida	Feminino	46	51,7	56,1	56,1
	Masculino	36	40,4	43,9	100,0
	Total	82	92,1	100,0	-
Missing		7	7,9	-	-
Total		89	100,0	-	-

Do quadro 4 – 2, constata-se que foram obtidas 82 respostas válidas e 7 inválidas.

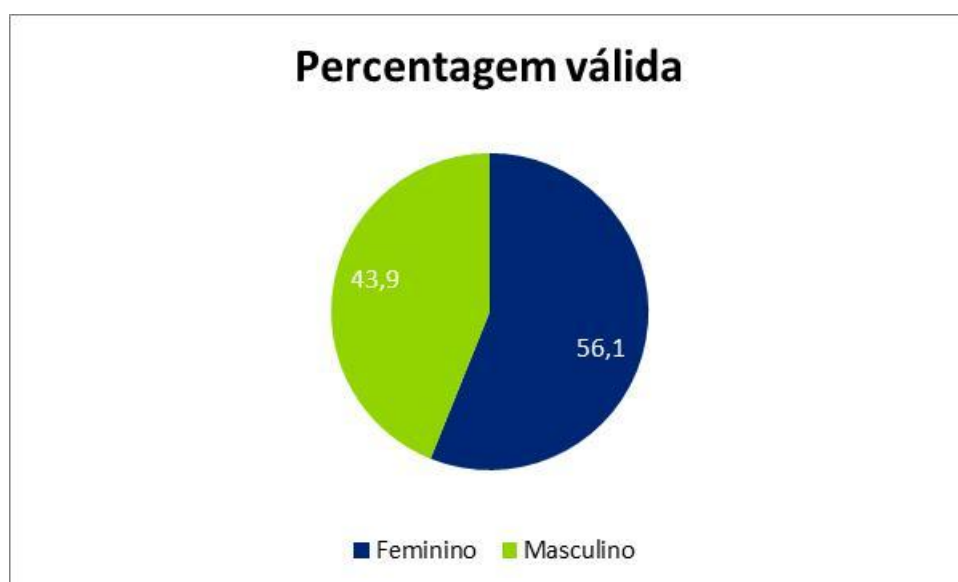


Figura 4-2 Análise estatística da variável Sexo, percentagem válida

A figura 4 –2 mostra que a diferença entre o sexo das pessoas que responderam ao inquérito foi muito diminuta.

4.2.1.2 Variável Idade

Quadro 4-3- Análise estatística da variável Idade

Amostra		Frequência	Percentagem	Percentagem válida	Percentagem acumulada
Válida	18-25	5	5,6	6,0	6,0
	26-39	34	38,2	40,5	46,4
	40-64	34	38,2	40,5	86,9
	>65	11	12,4	13,1	100,0
	Total	84	94,4	100,0	
Missing		5	5,6		
Total		89	100,0		

Foram obtidas para a análise desta variável 84 respostas válidas e apenas 5 inválidas.

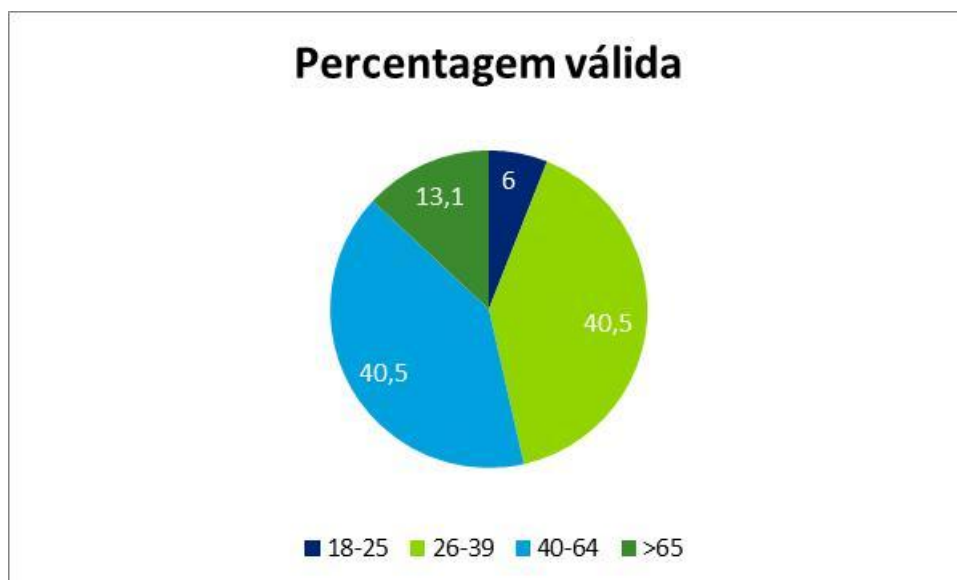


Figura 4-3- Análise estatística da variável Idade, percentagem válida

A figura 4 – 4 mostra que a maioria das pessoas que responderam ao inquérito tem idades entre 26 e 64 anos.

4.2.1.3 Variável Horário de Trabalho

Quadro 4-4- Análise estatística da variável Horário de Trabalho

Amostra		Frequência	Percentagem	Percentagem válida	Percentagem acumulada
Válida	Manhã	8	9,0	10,3	10,3
	Tarde	3	3,4	3,8	14,1
	Misto	47	52,8	60,3	74,4
	Não aplicável	20	22,5	25,6	100,0
	Total	78	87,6	100,0	-
Missing		11	12,4	-	-
Total		89	100,0	-	-

Foram obtidas para a análise desta variável 84 respostas válidas e apenas 5 inválidas como se comprova no quadro 4-5.

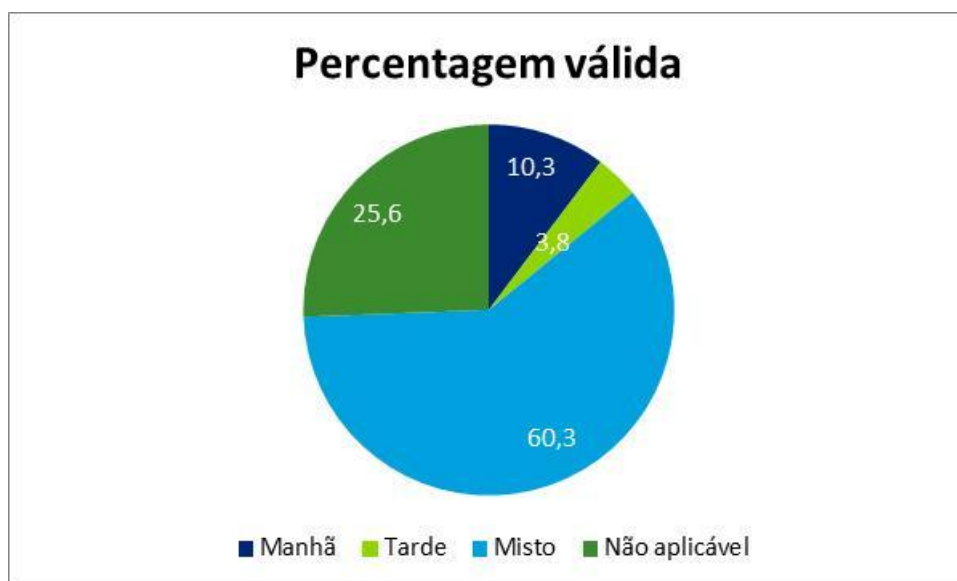


Figura 4-4 - Análise estatística da variável Horário de Trabalho, percentagem válida

A figura 4 – 4 mostra que a maioria das pessoas que responderam aos inquéritos tem um horário de trabalho misto, ou seja, trabalham nos períodos da manhã e tarde.

4.2.1.4 Variável Anos de Habitação

Quadro 4-5- Análise estatística da variável Anos de Habitação

Amostra		Frequência	Percentagem	Percentagem válida	Percentagem acumulada
Válido	0-1	10	11,2	13,0	13,0
	2-5	20	22,5	26,0	39,0
	6 ou mais	47	52,8	61,0	100,0
	Total	77	86,5	100,0	
Missing		12	13,5		
Total		89	100,0		

Foram obtidas para a análise desta variável 77 respostas válidas e 12 inválidas como se comprova no quadro 4 -5.

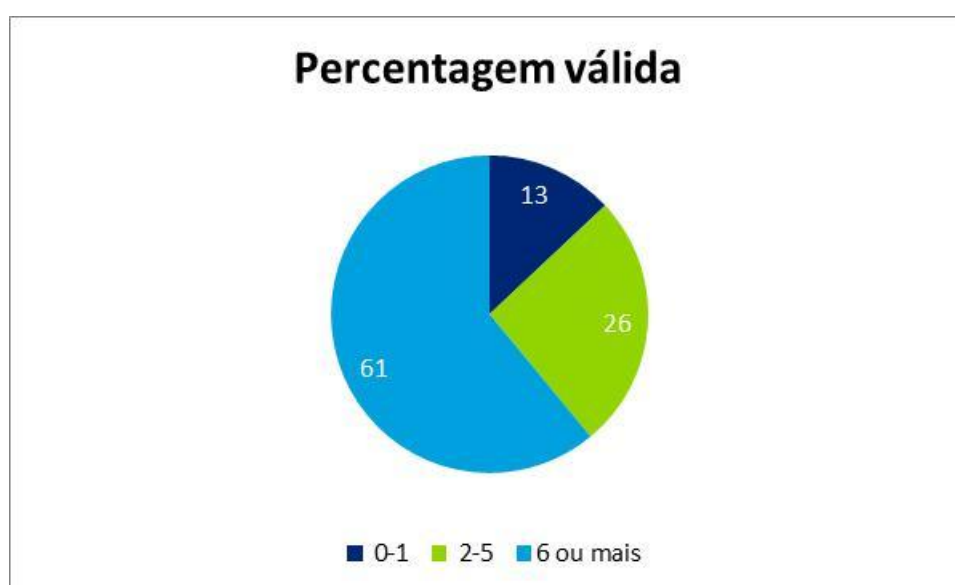


Figura 4-5 - Análise estatística da variável Anos de Habitação, percentagem válida

A figura 4 – 5 mostra que a maioria das pessoas que responderam aos inquéritos já habita na mesma habitação há seis ou mais anos.

4.2.1.5 Variável Agregado

Quadro 4-6- Análise estatística da variável Agregado

Amostra		Frequência	Percentagem	Percentagem válida	Percentagem acumulada
Válida	1	22	24,7	27,2	27,2
	2	22	24,7	27,2	54,3
	3	18	20,2	22,2	76,5
	4-6	13	14,6	16,0	92,6
	Mais de 6	6	6,7	7,4	100,0
Total		81	91,0	100,0	-
Missing		8	9,0	-	-
Total		89	100,0	-	-

Foram obtidas para a análise desta variável 81 respostas válidas e 8 inválidas (quadro 4- 6).

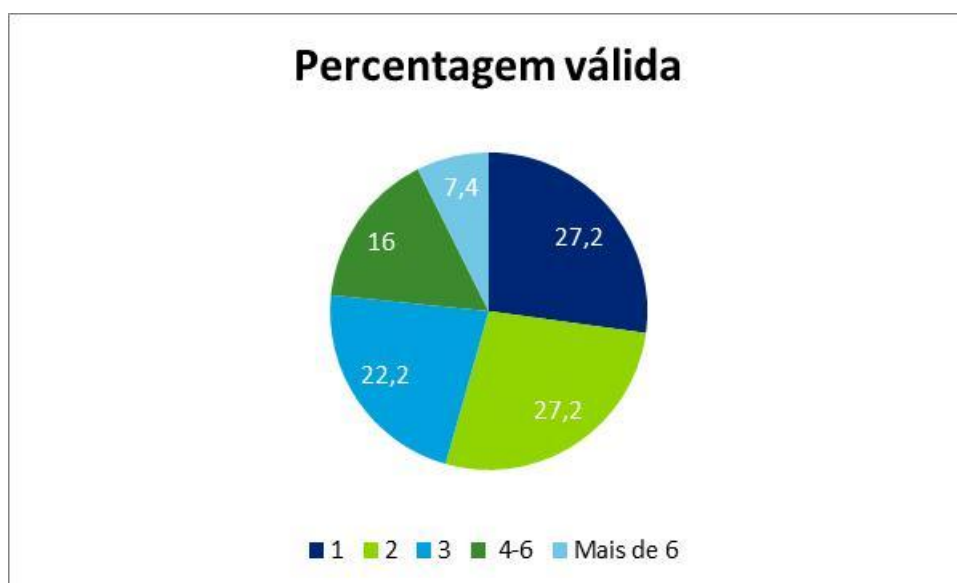


Figura 4-6 - Análise estatística da variável Agregado, percentagem válida

A figura 4 – 6 mostra que a maioria das pessoas que responderam aos inquéritos tem um agregado familiar entre 1 e 3 pessoas.

De forma a obter a caracterização da amostra for feita uma tabela de dupla entrada do género e idade (Figura 4 – 7).

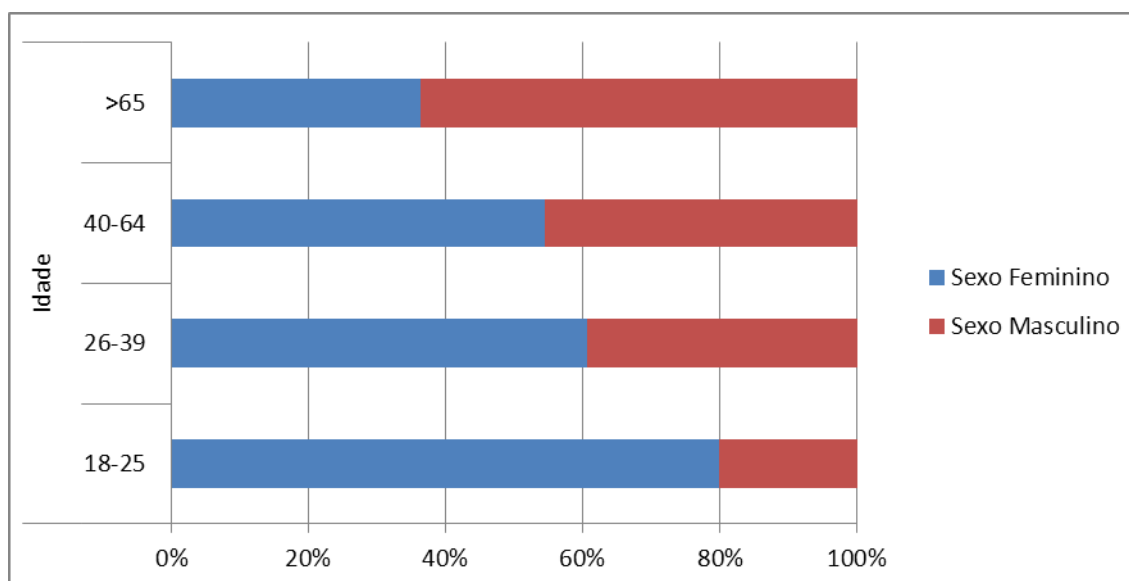


Figura 4-7 – Análise gráfica das variáveis Sexo e Idade

Da figura 4-7 retira-se que à medida que a idade do inquerido aumenta, a percentagem de respostas do sexo masculino também.

4.2.2. Análise da 2ª parte do questionário

A segunda secção do questionário é composta por 16 perguntas com uma escala de 0 a 10 que pretende considerar em que medida nos últimos 12 meses, o ruído emitido pelas fontes sonoras mencionadas, incomoda ou perturba, dentro da habitação.

Quadro 4-7- Análise estatística dos empreendimentos (1/3)

Amostras	Q 1 Ruído em geral	Q 2	Q 3	Q 4	Q 5	Q 6
Válida	89	89	88	89	89	89
Missing	0	0	1	0	0	0
Mediana	4,00	2,00	3,00	1,00	3,00	1,00

Quadro 4-8- Análise estatística dos empreendimentos (2/3)

Amostras	Q 7	Q 8	Q 9	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13
Válida	89	89	89	89	89	89	89
Missing	0	0	0	0	0	0	0
Mediana	3,00	2,00	4,00	2,00	3,00	1,00	3,00

Quadro 4-9- Análise estatística dos empreendimentos (3/3)

Amostras	Q 14	Q 15	Q 16
Válida	89	89	89
Missing	0	0	0
Mediana	3,00	7,00	5,00

A mediana das amostras em estudo no que refere à percepção geral do ruído é de 4 (escala de 0 a 10).

Não há nenhum aspecto em especial com o qual as pessoas se revelem particularmente incomodadas, sendo que o mais elevado é o item 9 (respeitante às instalações de escoamento e abastecimento de água) e mesmo assim não ultrapassa os 4. No sentido oposto, os itens 4, 6 e 12 apresentam os valores mais baixos (Quadros 4- 7 e 4- 8).

É notório que o ruído foi uma das preocupações na escolha da casa, já que a mediana das respostas ao item 15 é 7 (Quadro 4 – 9).

Quadro 4-10- Análise estatística dos empreendimentos com maiores diferenças nas respostas

Empreendimento	Q1	Q2	Q5	Q7	Q9	Q13	Q14
A	4,50	4,00	6,00	4,00	5,50	2,00	3,00
B	6,00	8,00	3,00	5,00	7,00	6,00	7,00
C	3,00	1,00	3,00	2,00	3,00	2,00	2,00

As respostas das questões mencionadas no quadro 4 – 10 foram as que os resultados apresentaram diferenças mais significativas no que respeita às medianas.

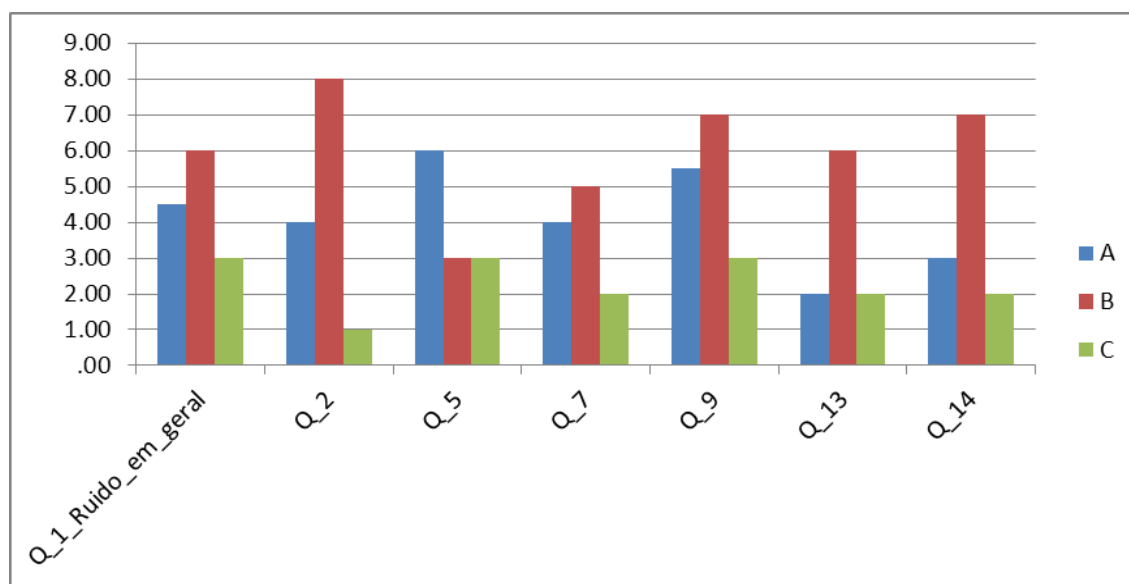


Figura 4-8- Medianas das perguntas com resultados mais diferentes dos vários empreendimentos

A figura 4- 8 ilustra como mencionado acima, as grandes diferenças entre as medianas das respostas, especialmente entre o empreendimento A e C.

4.2.3. Análise da 3ª parte do questionário

A 3ª parte do questionário consiste num grupo de 9 questões que tentam determinar a sensibilidade dos residentes nos diferentes empreendimentos em estudo. Os resultados a estas questões encontram-se enunciados nos quadros abaixo (Quadro 4 – 10 e 4 -11).

Quadro 4-10- Análise estatística parte de sensibilidade (1/2)

Amostras		P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6
N	Válida	89	89	89	89	89	89
	Missing	0	0	0	0	0	0
	Mediana	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	2,00

Quadro 4-11- - Análise estatística parte de sensibilidade (2/2)

		P 7	P 8 invert	P 9	Sensibilidade total
N	Válida	89	89	89	89
	Missing	0	0	0	0
	Mediana	2,00	2,00	1,00	20,00

Analisando os quadros 4 – 10 e 4 – 11 e sabendo que quanto mais baixo os valores das medianas, mais sensível é a pessoa ao ruído, pode concluir-se que os inquiridos da amostra são relativamente sensíveis ao ruído, o que vai ao encontro dos resultados da questão 16 na segunda parte do questionário.

Para a análise desta parte do questionário foi utilizado o teste de *Kruskal-Wallis*. Este pode ser utilizado para testar se duas ou mais amostras provêm da mesma população ou de populações diferentes ou se, de igual modo, as amostras provêm de populações com a mesma distribuição.

Contudo a forma de escrever as hipóteses, por recurso às medianas populacionais, é abusiva já que se as distribuições das populações forem iguais, então as suas medianas são iguais mas o recíproco não é válido.

Para usar este teste para comparar medianas, tem que se garantir de que as funções de distribuição são, pelo menos, idênticas.

Para calcular a estatística de teste, ordena-se por ordem crescente, todas as observações das diferentes amostras em conjunto (amostra global), atribuindo a cada observação a sua ordem na amostra global e mantendo a origem da observação [5].

Para esta amostra aplica-se o teste de *Kruskal-Wallis* para ver se há diferenças significativas entre os empreendimentos (todos os itens do questionário 1, factores de percepção de ruído e sensibilidade ao ruído).

O Quadro 4 – 12 da página seguinte indica os resultados para cada uma das questões através do método de *Kruskal-Wallis*, trabalhando a sensibilidade global através da méd

Quadro 4-12- Análise através do método de *Kruskal-Wallis* aos empreendimentos

Questão	Empreendimento	N	Média
Q 1	A	32	47,48
	B	23	57,70
	C	34	34,07
	Total	89	-
Q 2	A	32	48,63
	B	23	64,07
	C	34	28,69
	Total	89	-
Q 3	A	31	51,95
	B	23	43,50
	C	34	38,38
	Total	88	-
Q 4	A	32	45,63
	B	23	50,24
	C	34	40,87
	Total	89	-
Q 5	A	32	54,52
	B	23	40,26
	C	34	39,25
	Total	89	-
Q 6	A	32	48,58
	B	23	45,50
	C	34	41,29
	Total	89	-
Q 7	A	32	48,44
	B	23	55,28
	C	34	34,81
	Total	89	-
Q 8	A	32	50,06
	B	23	46,17
	C	34	39,44
	Total	89	-
Q 9	A	32	48,14
	B	23	55,43
	C	34	34,99
	Total	89	-
Q 10	A	32	48,44
	B	23	48,46
	C	34	39,43
	Total	89	-
Q 11	A	32	50,98
	B	23	39,35
	C	34	43,19
	Total	89	-
Q 12	A	32	47,02
	B	23	44,39

	C	34	43,51
	Total	89	-
Q 13	A	32	43,70
	B	23	56,89
	C	34	38,18
	Total	89	-
Q 14	A	32	41,95
	B	23	58,04
	C	34	39,04
	Total	89	-
Q 15	A	32	49,19
	B	23	44,76
	C	34	41,22
	Total	89	-
Q 16	A	32	50,97
	B	23	42,80
	C	34	40,87
	Total	89	-
Sensibilidade Total	A	32	43,84
	B	23	39,35
	C	34	49,91
	Total	89	-
Percepção L_{aeq}	A	32	49,17
	B	23	50,93
	C	34	37,06
	Total	89	-
Percepção D_{2mnw}	A	32	45,25
	B	23	54,22
	C	34	38,53
	Total	89	-
Percepção L_{nw} vertical	A	32	55,34
	B	23	41,20
	C	34	37,84
	Total	89	-
Percepção L_{nw} horizontal	A	32	50,06
	B	23	46,17
	C	34	39,44
	Total	89	-
Percepção D_{nw} vertical	A	31	49,45
	B	23	52,11
	C	34	34,84
	Total	88	-
Percepção D_{nw} horizontal	A	32	46,30
	B	23	60,65
	C	34	33,19
	Total	89	-

Para um nível de significância de 0.05 há diferenças significativas nos itens 1, 2, 5, 7, 9, 13 e 14.

No item 5 no qual os moradores do empreendimento A estão mais insatisfeitos do que os do empreendimento B, seguidos dos do empreendimento C).

Conclui-se que os moradores do empreendimento B são sempre os mais insatisfeitos, seguidos do empreendimento A.

Para o mesmo nível de significância, também há diferenças na percepção de L_{nw} vertical, D_{nw} vertical e D_{nw} horizontal.

Quadro 4-13- Estatísticas Teste a, b, 1

	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4	Q 5	Q 6	Q 7
Qui-Quadrado	12,119	27,192	4,699	1,933	6,886	1,519	9,649
Graus de liberdade	2	2	2	2	2	2	2
Probabilidade de significância	0,002	0,0001	0,095	0,380	0,032	0,468	0,008

Quadro 4-14- Estatísticas Teste a, b, 2

	Q 8	Q 9	Q 10	Q 11	Q 12	Q 13	Q 14
Qui-Quadrado	2,921	9,435	2,668	3,045	,348	7,453	8,205
Graus de liberdade	2	2	2	2	2	2	2
Probabilidade de significância	0,232	0,009	0,263	0,218	0,840	0,024	0,017

Quadro 4-15- Estatísticas Teste a, b, 3

	Q 15	Q 16	Sensibilidade total	Percepção L_{aeq}	Percepção D_{2mnw}
Qui-Quadrado	1,616	2,803	2,407	5,275	5,098
Graus de liberdade	2	2	2	2	2
Probabilidade de significância	0,446	0,246	0,300	0,072	0,078

Quadro 4-16- Estatísticas Teste a, b, 4

	Percepção L_{nw} vertical	Percepção L_{nw} horizontal	Percepção D_{nw} vertical	Percepção D_{nw} horizontal
Qui-Quadrado	8,318	2,921	8,112	15,669
Graus de liberdade	2	2	2	2
Probabilidade de significância	0,016	0,232	0,017	0,0001

Durante a análise realizada foi utilizado de forma permanente 2 graus de liberdade neste teste.

Os quadros acima, retratam a análise realizada através do teste de *Kruskal-Wallis*.

As maiores probabilidades de significância ocorreram nas questões 6, 12 e 15 enquanto as menores ocorrem nas questões 1, 2 e 7.

Analisando agora a sensibilidade global através da mediana, e não da soma dos itens, conclui-se que não há grandes diferenças ao nível da discriminação (repetindo o teste *Kruskal-Wallis* verifica-se que o nível de significância não difere muito).

Quadro 4-17- Estatística descritiva

	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Sensibilidade total mediana	89	1	4	2,08	0,757
Sensibilidade total soma	89	10	49	20,03	5,830
Amostras Válida N	89	-	-	-	-

Da estatística descritiva realizada às 89 amostras (Quadro 4- 17), analisa-se que a média e o desvio padrão da soma das respostas aos questionários têm um valor muito superior comparativamente com o total da mediana.

Quadro 4-18- Ranking da Análise estatística

	Empreendimento	N	Média
Sensibilidade total mediana	A	32	42,83
	B	23	40,11
	C	34	50,35
	Total	89	-
Sensibilidade total soma	A	32	43,84
	B	23	39,35
	C	34	49,91
	Total	89	-

Quadro 4-19- Testes das estatísticas

	Sensibilidade total Mediana	Sensibilidade total soma
Qui-Quadrado	2,951	2,407
Graus de liberdade	2	2
Probabilidade de significância	0,229	0,300

Após a realização de testes de estatística os resultados da sensibilidade total entre a mediana e a soma de todas as questões mostram que as diferenças não são significativas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil, a par com os laboratórios congéneres europeus, tenta com este estudo sobre as características de conforto acústico no interior dos edifícios de habitação em Portugal, relacionar a sensibilidade das pessoas aos diferentes ruídos de que são alvo dentro da habitação.

A análise estatística das respostas ao questionário (Anexo I), tenta ajudar na definição das exigências apropriadas que devem integrar a legislação sobre os requisitos acústicos de edifícios, mais baseados na sensibilidade das pessoas. Estas exigências têm como finalidade a prevenção de construção de soluções construtivas inadequadas, e a definição de condições de conforto acústico satisfatório. Exigências demasiado restritivas, conduzem a preços de habitações desnecessários, e por esse facto é importante avaliar as opiniões dos residentes, e a correspondente percepção sobre a satisfação relativamente ao isolamento acústico do edifício em que habita.

De referir a grande dificuldade que foi a obtenção dos resultados ao questionário devido à pouca colaboração de alguns responsáveis de empreendimentos inicialmente integrados neste estudo. A listagem inicial incluiu 7 diferentes empreendimentos e por diferentes razões 4 deles não foram incluídos no presente estudo.

Os principais desafios encontrados foram a informação das notas técnicas serem muito resumidas relativamente ao detalhe requerido para este estudo, a ausência de projeto acústico dos empreendimentos, a dificuldade de levantamento de dados de percepção, a reduzida disponibilidade dos condóminos para responder ao questionário e a dificuldade em entrar no interior das habitações para melhorar as descrições dos casos de estudo.

Considero a metodologia desenvolvida promissora para o relacionamento entre os dados objetivos e subjetivos, nomeadamente para relacionar parâmetros físicos com a percepção das pessoas.

Do estudo resultaram poucos indicadores comparáveis, é necessário aumentar a amostra de casos de estudo para a apresentação de mais e melhores resultados finais e criar incentivos para a realização de mais questionários para definição do conforto acústico em edifícios de habitação.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] EN 12354-3;
- [2] EN 12354-1;
- [3] Patrício, J. (2008): *Acústica nos Edifícios – 5ª Edição*, Verlag Dashofer, Lisboa, Portugal;
- [4] ISO 226:2003;
- [5] Ferreira, Ana (2007), *Soluções Técnicas para Isolamento Sonoro de Edifícios de Habitação*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico;
- [6] Dias, Ricardo (2009), *Análise comparativa dos métodos normalizados de previsão da transmissão sonora por via aérea*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico;
- [7] Ferreira Neto, Maria de Fátima, *Nível conforto acústico: Uma proposta para edifícios residenciais*, Tese de Doutoramento, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitectura e Urbanismo;
- [8] João Maroco (2007): *Análise Estatística com utilização do SPSS*, Edições Sílabo;
- [9] Nota Técnica N°01/2002-NAI (2002): *Edifício Monte Carlo Verificação da conformidade com o Regime Legal sobre a Poluição Sonora*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- [10] Nota Técnica n°08/04-NAI (2004): *Empreendimento Parque Olaias, Edifícios RTB6 e RQ3, Análise das soluções construtivas no âmbito do comportamento acústico da caixilharia*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- [11] Nota Técnica n°11/04-NAI (2004): *Empreendimento Parque Olaias, Edifícios RTB6 e RQ3, Resultados de ensaios em obra e Análise De Conformidade Legal*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- [12] Nota Técnica n°09/04-NAI (2004): *Empreendimento Parque Olaias, Edifício RTB5, Análise das soluções construtivas no âmbito do comportamento acústico da caixilharia*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- [13] Nota Técnica n°12/04-NAI (2004): *Empreendimento Parque Olaias, Edifício RTB5, Resultados de Ensaaios em Obra e Análise de Conformidade Legal*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- [14] Nota Técnica n°03/2005-NAI (2005): *Urbanização Colinas do Cruzeiro, Verificação da Conformidade com o regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- [15] Neves e Sousa, Albano (2009): *Requisitos acústicos nos edifícios, Modelos de Previsão*, Instituto Superior Técnico;

-
- [16] ISO, “ISO/TS 15666 – Acoustics: Assessment of noise annoyance by means of social and socioacoustic surveys”, Suíça 2002;
- [17] NP EN ISO 140-4;
- [18] NP EN ISO 140-5;
- [19] NP EN ISO 140-7;
- [20] NP EN ISO 717-1;
- [21] NP EN ISO 3382-2;
- [22] NP EN ISO 16032;
- [23] Decreto-Lei n.º 17/08, de 29 de Janeiro, 2008; e
- [24] Antunes, Sónia; Anjos, M. – Avaliação da incomodidade induzida pelo ruído de vizinhança no interior das habitações em Portugal, 44º Congresso Español de Acústica, TECNIACUSTICA 13, Valladolid, Outubro, 2013.
- [25] Myncke, H.; Cops, A.; De Belder, P. (1981): *Guide-line for the evaluation of the air-bone sound insulation of dwellings- Final Report*, Laboratorium voor Akoestiek en Warmtegeleiding, K. U. Leuven, Belgium;

7. ANEXOS

Anexo I- Questionário distribuído nos empreendimentos em estudo

Estudo sobre o conforto acústico no interior da sua habitação



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil, a par com os laboratórios congéneres europeus, está a desenvolver um estudo sobre as características de conforto acústico no interior dos edifícios de habitação em Portugal. Para o presente estudo vários edifícios foram seleccionados aleatoriamente. O edifício onde reside foi incluído para razões estatísticas, e agradecemos o preenchimento deste inquérito relativamente as condições da habitação onde reside.

As suas respostas ao questionário em anexo ajudam-nos na definição das exigências apropriadas que devem integrar a legislação sobre os requisitos acústicos de edifícios. Estas exigências têm como finalidade a prevenção de construção de soluções construtivas inadequadas, e a definição de condições de conforto acústico satisfatório. Exigências demasiado restritivas, conduzem a preços de habitações desnecessários, e por esse fato é importante avaliar as opiniões dos residentes, e a correspondente percepção sobre a satisfação relativamente ao isolamento acústico do edifício em que habita.

Agradecemos-lhe pelo tempo despendido. As suas respostas serão utilizadas para fins estatísticos e são confidenciais. Os resultados e os seus dados pessoais só serão utilizados para esta pesquisa e não serão utilizados para nenhum outro objectivo.

Por favor preencha os seus dados pessoais e o questionário que se segue:

DADOS PESSOAIS

Sexo:	Feminino	<input type="checkbox"/>	Masculino	<input type="checkbox"/>								
Idade:	18-25	<input type="checkbox"/>	26-39	<input type="checkbox"/>	40-64	<input type="checkbox"/>	>65	<input type="checkbox"/>				
Horário de trabalho:	Manhã	<input type="checkbox"/>	Tarde / Noite	<input type="checkbox"/>	Misto	<input type="checkbox"/>	Não aplicável	<input type="checkbox"/>				
Anos de habitação na residência:	0-1	<input type="checkbox"/>	2-5	<input type="checkbox"/>	6- ou mais	<input type="checkbox"/>						
Nº de pessoas do agregado familiar:	1	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	4-6	<input type="checkbox"/>	6-	<input type="checkbox"/>	Id. (a preencher pelo LNEC):	

Se tiver dúvidas ou preferir responder via chamada telefónica:



- contacte : [+351 21 8443834] /e-mail para santunes@lnec.pt



Agradecido pela sua colaboração!



SÓNIA ANTUNES

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS/ NAICI

EXEMPLO DE COMO RESPONDER ÀS QUESTÕES DA PÁGINA SEGUINTE:

Pergunta-		Escala da resposta											
		 Absolutamente Nada  Extremamente 										Não sei	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Tomando em consideração os últimos mais ou menos 12 meses, indique em que medida (número de 0 a 10) o ruído emitido pelas fontes abaixo indicadas, o/a incomoda ou perturba, quando você está aqui em sua casa? (Isto também é aplicável no caso da fonte em avaliação interferir nas suas atividades, como por exemplo, ler, conversar, ouvir etc.)													
1.	Vizinhos; vida diária, como por exemplo, conversas, som do rádio, da televisão transmitido pelas paredes (Descreva o que ouve)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Faça um X na caixa com a sua resposta Se já respondeu mas quer modificar a sua resposta, preencha a caixa a preto e marque um novo X na nova caixa Se não ouvir nada, a fonte não existir ou não é possível responder preencha a caixa.													
Instruções: Escolha uma resposta na escala de 0 a 10 que quantifique o incómodo/perturbação/aborrecimento provocado pelo ruído, quando está em sua casa.													
se ouve pouco ruído e não é de modo nenhum perturbado pelo mesmo, escolha 0		se é extremamente incomodado, perturbado ou aborrecido pelo ruído seleccione 10		Se está numa situação intermédia, Escolha um número de 1 a 9				Se não ouve nada, a fonte não existe ou não consegue responder escolha "Não sei"					

Pergunta-		Escala da resposta											
		 Absolutamente Nada  Extremamente 										Não sei	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Tomando em consideração os últimos mais ou menos 12 meses, indique em que medida (número de 0 a 10) o ruído emitido pelas fontes abaixo indicadas, o/a incomoda ou perturba, quando você está aqui em sua casa?													
1.	Ruído em geral p. ex. de vizinhos, instalações técnicas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pergunta-		Escala da resposta											
		 Absolutamente Nada  Extremamente 										Não sei	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Tomando em os últimos mais ou menos 12 meses, indique em que medida (número de 0 a 10) o ruído emitido pelas fontes abaixo indicadas, o/a incomoda ou perturba, quando você está aqui em sua casa?													
2.	Vizinhos; ruídos associados à vida quotidiana, por ex. conversas, som do radio, e/ou TV, proveniente de habitações no mesmo piso, transmitido pelas paredes (ouve principalmente _____)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	Vizinhos; ruídos associados à vida diária, por ex. conversas, som do radio, e/ou TV, provenientes de andares contíguos (transmitem pelo pavimento ou tecto (ouve principalmente _____))	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.	Vizinhos; música com sons de bateria com baixo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	Vizinhos; ruído de passos i.e. ouve quando as pessoas caminham nos pavimentos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.	Vibrações na sua própria mobília quando os vizinhos se movimentam no fogo superior	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	Ruído proveniente das escadas, acessos a varandas etc.; conversas, portas a fechar, ou outros sons	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. Ruído de impacto proveniente das escadas, dos acessos a varandas etc.; caminhar ou outros sons de impacto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Instalações de escoamento e abastecimento de água; canalizações, uso do autoclismo, chuveiro	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Instalações climáticas; aquecedores, ar condicionado, grelhas de admissão/extracção de ar ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Equipamentos; elevadores, máquinas de lavar, ventiladores ()	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Garagens, lojas, escritórios, bares, restaurantes, lavandarias ou outro, ouvido em casa com janelas fechadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Ruído de tráfego (carros, autocarros, camiões, comboios ou aviões); ouvido em casa com janelas fechadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Actividade diária da família; ouvido na sua divisão com as portas fechadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Antes de se mudar para a sua residência actual, foi importante para si o isolamento sonoro, com respeito ao

	Nada importante										Extremamente importante	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
15. Ruído em geral, i.e. dos vizinhos, instalações técnicas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

É tolerante ou sensível no que respeita ao ruído

	Tolerante, nada sensível										Extremamente sensível	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
16. Ruído em geral, i.e. dos vizinhos, instalações técnicas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Se seguida, vamos solicitar-lhe a sua opinião relativamente a um determinado número de sons, expressos em 9 declarações. Por favor, tente imaginar a situação específica de cada declaração, e indique o seu grau de concordância. Para cada situação, aponte a opção que melhor reflecte a sua opinião, de modo espontâneo. As opções de resposta são: Concordo totalmente, Concordo ligeiramente, Discordo ligeiramente, Discordo totalmente. Estamos interessados na sua própria avaliação pessoal, dos tópicos aqui apresentados, não existindo nenhuma resposta correta ou errada.

	 Concordo totalmente	Concordo ligeiramente	Discordo ligeiramente	Discordo totalmente 
1. Não tem piada conversar com o radio ligado.				
2. Tenho tendência a notar os sons incomodativos, só depois das outras pessoas.				
3. Nos meus tempos livres, evito ir a locais ruidosos, como por exemplo, jogos de futebol e feiras.				
4. Acordo com o menor dos sons.				

5. Mesmo em ambientes ruidosos, sou capaz de me concentrar e trabalhar eficazmente				
6. Quando estou a fazer compras no centro da cidade, nem noto o ruído na rua.				
7. Depois de ter passado uma noite num bar ruidoso, sinto-me esgotado/a				
8. Quando estou a adormecer, nenhum som me perturba.				
9. Ao fim de semana gosto de estar em locais tranquilos				

Descreva as fontes relevantes de ruído, tipo de casa, atividade dos vizinhos etc):

Comentários ao questionário

Anexo II - Glossário

Decibel

Decibel (dB) é uma unidade logarítmica que indica a proporção de uma quantidade física (geralmente energia ou Intensidade) em relação a um nível de referência especificado ou implícito. Uma relação em decibéis é igual a dez vezes o logaritmo de base 10 da razão entre duas quantidades de energia. [25] Um decibel é um décimo de um bel, uma unidade raramente usada.

Ruído aéreo

O ruído aéreo é originado pela excitação directa do ar decorrente de fontes sonoras no exterior ou no interior dos fogos (televisão, rádio, etc..). Como o próprio nome indica, o ruído aéreo propaga-se pelo ar e pode ser transmitido através dos elementos de construção (paredes, janelas, etc...).

Propagação sonora

A propagação sonora é um modo de transmissão da energia. Esta pode ser através dos meios líquido, sólido, gasoso, ou plasma, conforme o caso. No vácuo, o som não se propaga.

A percepção da propagação sonora se dá pela sensação auditiva criada pelo fenómeno acústico que consiste no deslocamento das ondas sonoras produzidas por um corpo que vibra em determinado meio material.